tijdschrift van het

nederlands electronica- en radiogenootschap

verschijnt zes maal per jaar

deel 38 - nr. 1 - 1973

Nederlands Elektronica- en Radiogenootschap
Postbus 39, Leidschendam. Gironummer 94746 t.n.v.
Penningmeester NERG, Leidschendam.

HET GENOOTSCHAP

Het genootschap stelt zich ten doel in Nederland en de Overzeese Rijksdelen de wetenschappelijke ontwikkeling en de toepassing van de elektronica en de radio in de ruimste zin te bevorderen.

Bestuur
Prof.Dr.Ir. J. Davidse, voorzitter
Ir. F. de Jager, vice-voorzitter
Ir. C. van Schooneveld, secretaris
Ir. L.R. Bourgonjon, penningmeester
Ir. E. Goldbohm
Prof.Dr. H. Groendijk
Ir. G.L. Reijns
Prof.Ir. C. Rodenburg
J.W.A. van der Scheer Ing.

Lidmaatschap
Voor opgave lidmaatschap wende men zich tot de secretaris. Het lidmaatschap staat -behoudens ballotage- open voor academisch gegradueerden en hen, wier kennis of ervaring naar het oordeel van het bestuur een vruchtbaar lidmaatschap mogelijk maakt.

Studenten aan universiteiten en hogescholen kunnen bij gevorderde studie in aanmerking komen voor een juniorlidmaatschap, waarbij 50% reductie wordt verleend op de contributie voor gewone leden.

HET TIJDSCHRIFT

Het tijdschrift verschijnt zesmaal per jaar. Opgenomen worden artikelen op het gebied van de elektronica en van de telecommunicatie.

Auteurs die publicatie van hun wetenschappelijk werk in het tijdschrift wensen, worden verzocht in een vroeg stadium kontakt op te nemen met de voorzitter van de redactie commissie.

De teksten moeten, getypt op door de redactie verstrekte tekstbladen, geheel persklaar voor de offsetdruk worden ingezonden.

Redactiecommissie
Ir. M. Steffelaar, voorzitter
Ir. L.D.J. Eggermont
Ir. A. da Silva Curiel.

Abonnementen
De abonnementsprijs van het tijdschrift bedraagt ƒ 35,-.
Aan leden wordt het tijdschrift kosteloos toegestuurd.

Advertenties
Tarieven en verdere inlichtingen worden op aanvrage verstrekt door de voorzitter van de redactiecommissie.

DE EXAMENS

De examens door het Genootschap ingesteld en afgenomen zijn:
Elektronicatechnicus en Elektronicamonteur.

Examencommissie
Ir. J.H. Geels, voorzitter
Ir. F.F.Th. van Odenhoven, vice-voorzitter
Ir. L.R.M. Vos de Wael, secretaris penningmeester.

Deelname en inlichtingen
Voor deelname en inlichtingen wende men zich tot het secretariaat van de Examencommissie NERG, von Geusaustraat 151, Voorburg, gironummer 6322 te Voorburg.

TEN GELEIDE

Wetenschappelijke tijdschriften hebben het vandaag de dag niet gemakkelijk. Een vereniging die blijkens haar statuten de uitgave van een tijdschrift tot haar verplichtingen rekent, kan daarin aanleiding vinden de toekomst niet al te zorgeloos tegemoet te zien. Sinds de oprichting van ons genootschap, bijna 53 jaar geleden, zijn de toestanden in het wetenschappelijk publicatiewezen ingrijpend gewijzigd. Het aantal publicatieorganen is belangrijk toegenomen, terwijl het internationale karakter van de wetenschap en haar communicatiemedia zich in toenemende mate heeft gemanifesteerd. Bovendien heeft de omgang met wetenschappelijke publicaties zich gewijzigd onder invloed van ontwikkelingen in de organisatie van de wetenschapsbeoefening en van zich evoluerende reproductietechnieken en -usanties.

Toen enkele jaren geleden het genootschap de voortzetting van de gedurende tientallen jaren volgehouden uitgave van het eigen tijdschrift zorgen begon te baren, diende schaalvergroting door samenwerking met anderen zich aan als een eigentijdse remedie. Bundeling van de publicatie-activiteiten van het genootschap en de sectie voor telecommunicatietechniek van het Koninklijk Instituut van Ingenieurs bood een voor beide partners bevredigende oplossing van hun problemen. De recente wijzigingen in het publicatiebeleid van het K.I.v.I. leidden helaas per 1 januari 1973 tot een beëindiging van deze nog prille coöperatie. Het bestuur van het genootschap zag zich op korte termijn geplaatst voor de vraag hoe het hoofd te bieden aan de ontstane situatie. Het K.I.v.I. bereidt de uitgave van een internationaal georiënteerd Engelstalig wetenschappelijk tijdschrift op het terrein der elektrotechniek en der elektronica voor. Het bestuur van het N.E.R.G. en het K.I.v.I. zijn reeds overeen gekomen de samenwerking op publicatiegebied hierin te continueren. Dit tijdschrift is het aangewezen publicatiemedium voor originele wetenschappelijke bijdragen uit de kring van het genootschap.

Een studie van een door het bestuur in het leven geroepen "Commissie van Bijstand", die in korte tijd veel werk verzette, aangevuld met de resultaten van gesprekken met leden van het genootschap en die van een onder alle leden ingestelde schriftelijke enquête, voerde tot de conclusie dat hiermee de in het genootschap levende communicatiebehoefte niet volledig bevredigd is.

De medewerking van het genootschap aan een tijdschrift met het boven aangeduide karakter wordt toegejuicht, doch daarnaast leeft in concreto bij velen het verlangen naar een meer huiselijk tijdschrift dat vooral dienstbaar zou kunnen zijn aan het "binnenlandse contact" tussen vakgenoten. In zo'n orgaan zou met name de tekst van vele voordrachten die zich door hun aard minder goed lenen voor publicatie in het internationale orgaan, een plaats moeten vinden. Bij de schepping van zo'n publicatiemedium vormen de financiële lasten echter een hinderlijke randvoorwaarde. Een ontwikkeling volgend die meer en meer ingang vindt en die bij de publicatie van congresboeken nagenoeg standaard is, heeft het bestuur gekozen voor een vorm waarbij de redactionele en typografische kosten geminimaliseerd zijn. Qua uiterlijke presentatie mag de uitvoering die thans voor u ligt een weinig ambitieuze indruk maken, zij lijkt in de gegeven omstandigheden het beoogde doel het meest adequaat te dienen.

Het bestuur ziet de gekozen vorm als een voorlopige. In overleg met andere organisaties in Nederland en België tracht het tot een verruiming van mogelijkheden door bundeling van krachten te komen. Zulk overleg kost echter tijd; het wederwijdse contact moet een zeker rijpingsproces doormaken.

De nieuwe redactie zet zich met groot enthousiasme in voor het tijdschrift in zijn nieuwe gedaante. Dit sterkt het bestuur van het genootschap in zijn vertrouwen in het welslagen van de nieuwe opzet. Met de wens dat de nieuwe uitgave het genootschapsleven zal verrijken moge ik dit "ten geleide" besluiten.

De voorzitter van het N.E.R.G.,

J. Davidse

ALFANUMERIEKE SYMBOLEN VOOR DE MOZAÏEK VERRESCHRIJVER

Prof.ir. J.L. de Kroes

Technische Hogeschool Delft

Alphanumeric symbols for mosaic printers

A short description is given of the mosaic printing principle. Improvement can be obtained by introducing variable symbol widths and interpositions, i.e. printing elements between the grid postions. The intersymbol space is considered part of the symbol and is also variable.
Thus it is possible to design upper and lower case alphabets which are better readable than mosaic alphabets with fixed symbol widths and fixed spaces between the symbols.
The mosaic printer can also be used for facsimile.
By an addition to the ITA 5 alphabet facsimile and symbols can be alternated. This makes the mosaic printer also very suitable as output device for computer systems.

1. DRUKPRINCIPE

Een van de meest in het oog lopende delen van de moderne datasystemen is de verreschrijver. Het is een verbindingsschakel tussen mens en systeem. Via het toetsenbord van de verreschrijver geeft de mens informatie door aan het systeem; het drukmechanisme maakt de informatie, afkomstig van het systeem, zichtbaar voor de mens. Het is hierbij om het even of het datasysteem informatie bewerkt (computersysteem) of informatie transporteert (telecommunicatiesysteem); in steeds meer gevallen zullen beide funkties worden verricht.
De huidige verreschrijvers zijn gebaseerd op het typedrukprincipe. Hierbij wordt een negatieve vorm van het gewenste alfanumerieke symbool tegen een inktlint of carbonlint gedrukt en laat zodoende een afdruk achter op het papier.
Van alle ongeveer 90 beschikbare symbolen zijn dus op ware grootte stevige vormen aanwezig. Het op de juiste plaats voor het papier brengen van de gewenste vorm is daarom het hoofdprobleem dat in de verschillende uitvoeringen moet worden opgelost. Niettegenstaande de vaak brilliante oplossingen blijft de druksnelheid beperkt en het opvoeren van de snelheid tot aan zijn uiterste waarde veroorzaakt een voor de bedrijfsvoering hinderlijk lawaai. Om deze problemen te verlichten, wordt meestal het aantal symbolen verminderd door beperking tot hoofd- of kleine letters.
De bovengeschetste beperkingen van het typedrukprincipe hebben naast het onderzoek naar nieuwe drukprocedees geleid tot onderzoek naar nieuwe drukprincipes. Als gevolg daarvan komt het mozaïek-drukprincipe steeds meer naar voren. Hierbij wordt de te drukken letter opgebouwd uit elementen, die tezamen een raster vormen (fig. 1)
Sommige van deze elementen -de uitgekozen elementen- worden gekleurd met behulp van een drukprocedee; de niet uitgekozen elementen blijven wit. Dit principe wordt reeds lang toegepast bij lichtkranten en cathode straalbuizen, tegenwoordig ook bij plasma panelen en rasters

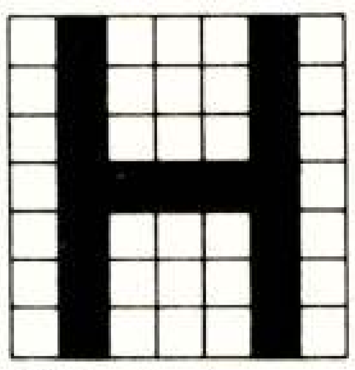


Fig. 1. Het mozaïekprincipe met vierkante elementen.

van lichtgevende diodes.
De uitvoeringen volgens het mozaïek principe kan men verdelen in die met:

a) één schrijfstift
b) een rij schrijfstiften
c) een matrix schrijfstiften

Met de laatste uitvoering kan men het gehele symbool van b.v. 7 × 5 elementen tegelijkertijd drukken. Met de tweede uitvoering moet men rij na rij of kolom na kolom drukken. Bij de eerste genoemde uitvoering drukt men punt na punt, zoals b.v. de Hell schrijver.

2. DRUKPROCEDEE

Welke uitvoering men kiest hangt af van de gewenste druksnelheid en de snelheid van het gekozen drukprocedee, d.w.z. een complex samenhangende keuzen. In ons laboratorium werd gekozen voor het procedee met drukgevoelig papier en wel om de volgende reden:

a. de afdruk is direkt zichtbaar
b. geen verdere hulpmaterialen zijn nodig (inkt, poeder, lint, etc.)
c. kopieën kunnen direkt vervaardigd worden
d. de snelheid is zo hoog, dat volstaan kan worden met één rij van schrijfstiften.

De schrijfstiften hebben bij het gekozen procedee de vorm van elektromechanisch aangedreven pennen.
Bij de keuze tussen kolom na kolom en rij na rij is voor

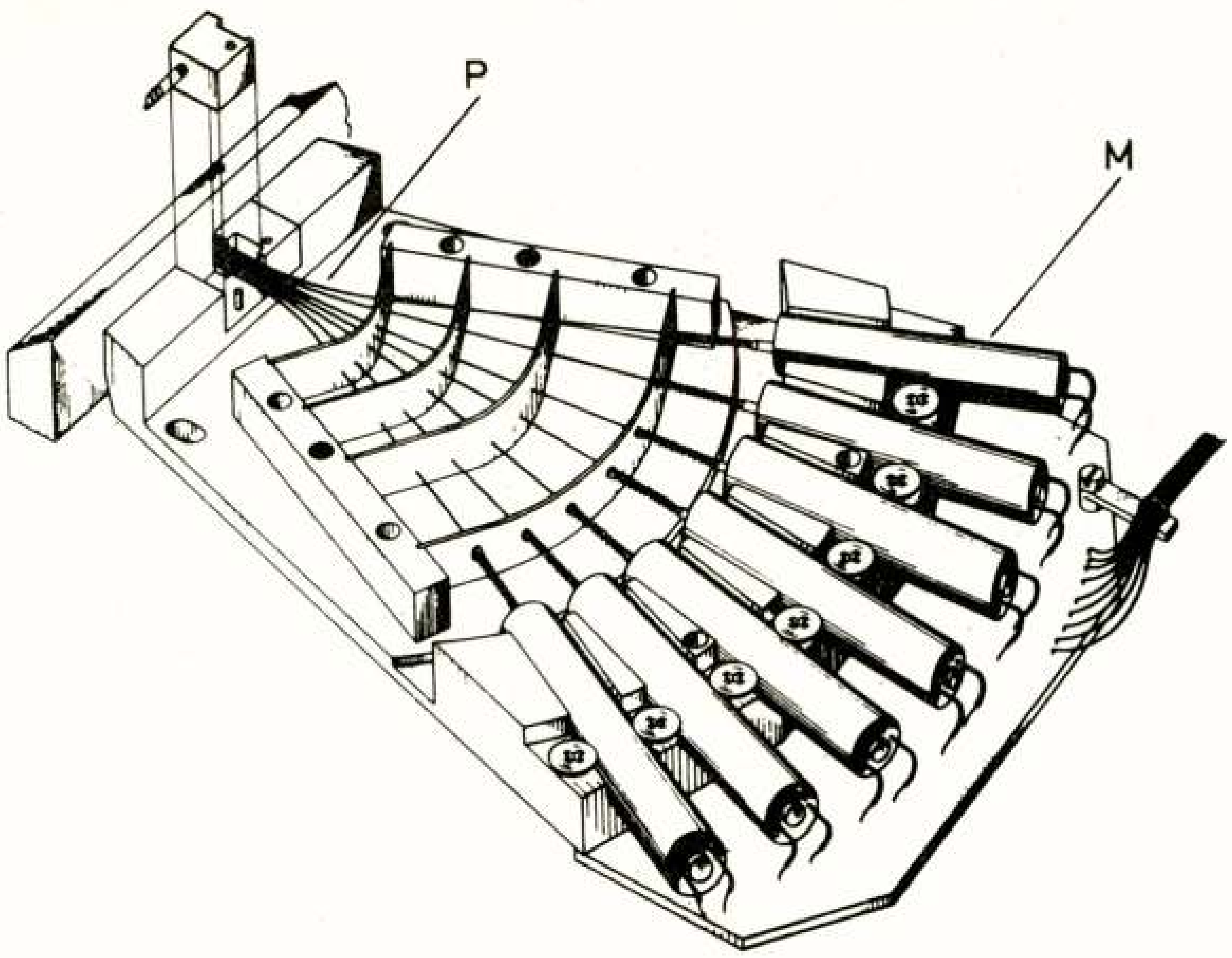


Fig. 2. Drukhoofd van een mozaïekschrijver.

kolom na kolom gekozen. Deze uitvoering heeft als voordeel, dat de gehele regel in één vloeiende beweging kan worden afgedrukt. Deze beweging komt tot stand met een stappenmotor, is daardoor nauwkeurig reproduceerbaar en kan tevens op iedere plaats tijdelijk worden gestopt.

3. VERRESCHRIJVER

Fig. 2 laat het drukhoofd zien met de elektromagneten M, die de pennen P tegen het drukgevoelig papier stoten, zodanig dat op de plaats van de stoot het papier verkleurt. Nadat kolom 1 gedrukt is verschuift het drukhoofd één positie naar rechts om kolom 2 af te drukken, zoals in fig. 3 te zien is. De met stippellijnen verbonden elementen

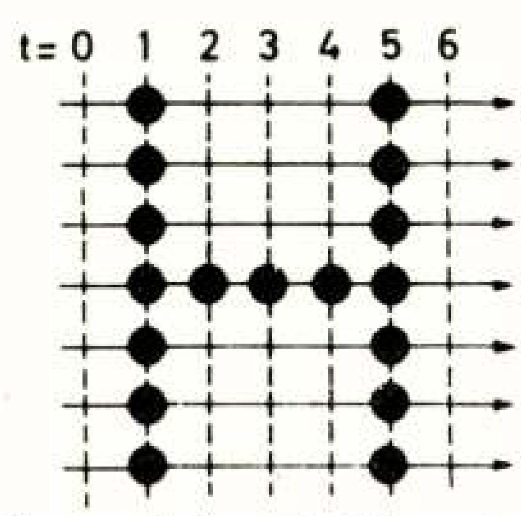


Fig. 3. Het kolom na kolom drukken van de letter H.

worden tegelijkertijd afgedrukt. De tijdafstand tussen de kolommen is ca. 5 millisekonden, de rasterafstand van de elementen 0,35 millimeter.

In typedruk is de vorm der ca. 90 symbolen op ware grootte vastgelegd; in mozaïekdrukker zijn de symboolvormen vastgelegd in een elektronisch (halfgeleider) geheugen, een kleine (enkele kubieke millimeters groot, fig. 4) goedkope read-only-memory, vervaardigd volgens de (MOS-FET) methode, die ook wel "character generator" genoemd wordt.

Het blokdiagram van de verreschrijver is in fig. 5 aangegeven. De serie parallel omzetter SPC biedt het tele-

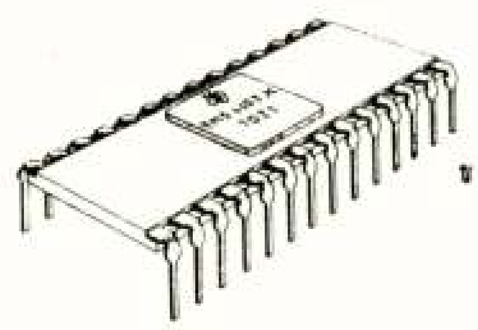


Fig. 4. Elektronisch geheugen vervaardigd volgens het MOS-FET procedee.

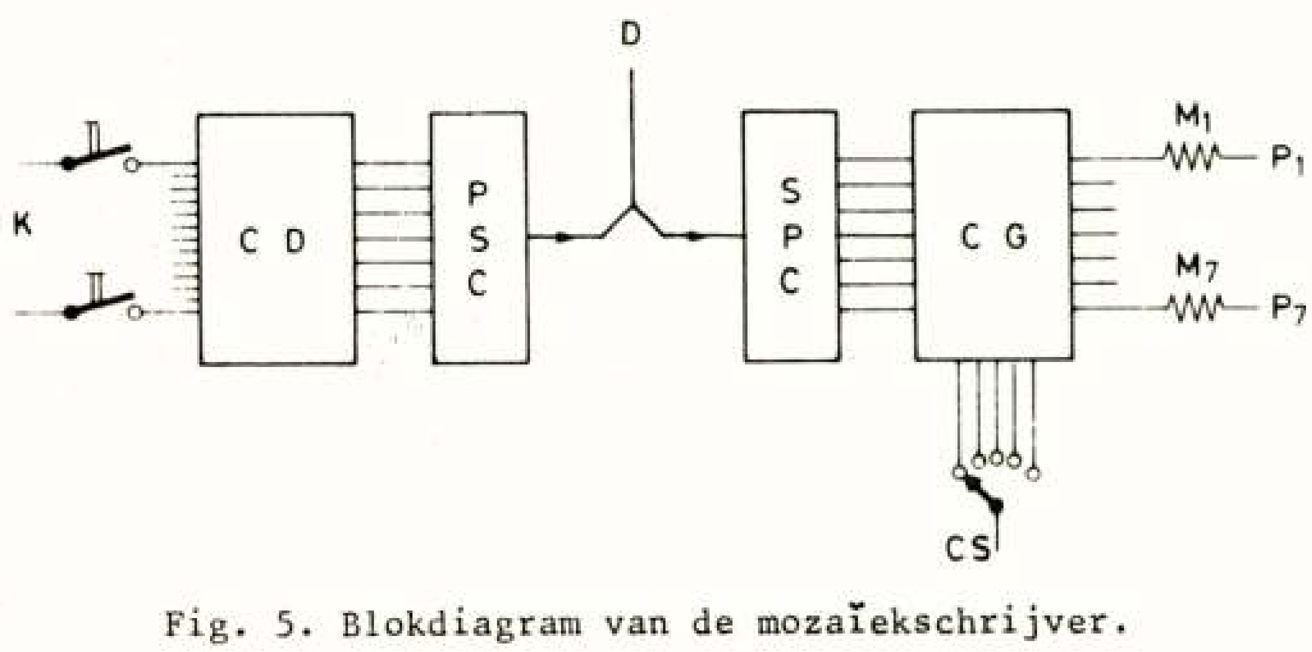


Fig. 5. Blokdiagram van de mozaïekschrijver.

K = klavier	SPC= serie-parallel omzetter
CD = codeerinrichting	CG = karaktergenerator
PSC= parallel-serie omzetter	CS = kolomschakelaar
D = datalijn	M = electromagneten
	P = drukstiften

graafteken b.v. in het Internationale Telegraaf Alfabet No. 5 (ITA 5) parallel aan het elektronische geheugen CG aan.
Met de kolomkiezer in stand 1 wordt de informatie voor de eerste kolom uitgelezen en doorgegeven aan de zeven elektromagneten. Na het drukken van de eerste kolom gaat de kolomkiezer naar stand 2, enz.

4. UITBREIDING VAN HET MOZAIEK PRINCIPE

De kolom na kolom uitvoering geeft de mozaïek verreschrijver belangrijke mogelijkheden:

a) variabele symboolbreedte, waardoor i bijvoorbeeld één kolom breedte gegeven kan worden en een W negen. De ruimte tussen de symbolen wordt beschouwd te behoren tot het symbool en kan daardoor ook gevariëerd worden, fig. 6.

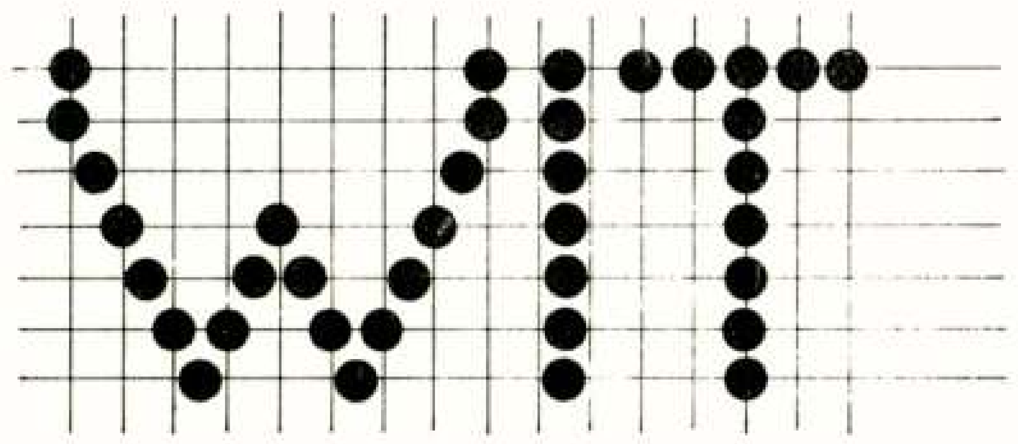


Fig. 6. Variabele letterbreedte bij de mozaïekschrijver.

Op deze wijze kan een belangrijke verbetering in leesbaarheid verkregen worden t.o.v. de thans gebruikelijke alfabetten, waarbij de symbolen met de spaties allen dezelfde breedte bezitten.

b) toepassen van interposities, d.w.z. afdrukken tussen de juiste kolomposities. De onderlinge afstand van twee afgedrukte elementen op een rij blijft evenwel minstens een volledige stap. Dit is een uitbreiding van het mozaïek principe.
Zonder interposities kan men slechts schuine lijnen maken onder 45°, waarvan de elementen slecht aaneengesloten zijn. Door nu één interpositie toe te laten, dus verdeling van het interval in twee delen, kan men ook een schuine lijn maken onder 63° met de horizontaal.
Door twee interposities (verdeling van het interval in drie gelijke delen) kan men naast lijnen onder 45° ook lijnen onder 56° en 72° trekken. Hoe steiler de schuine lijn hoe beter de aaneensluiting der elementen. (fig. 7). Fig. 8 laat de kursieve letter H zien, waarbij 5 interposities gebruikt worden.

Door het toepassen van een variabele symboolbreedte en interposities kunnen belangrijk beter herkenbare, beter onderscheidbare, dus beter leesbare symbolen gekreëerd worden. Dit in vergelijking met de thans gangbare hoofdletter alfabetten, waarbij de symbolen allen vijf kolommen breed zijn en alle elementen op het raster staan. U en V zijn hierbij moeilijk onderscheidbaar en V is moeilijk als zodanig herkenbaar, fig. 9.

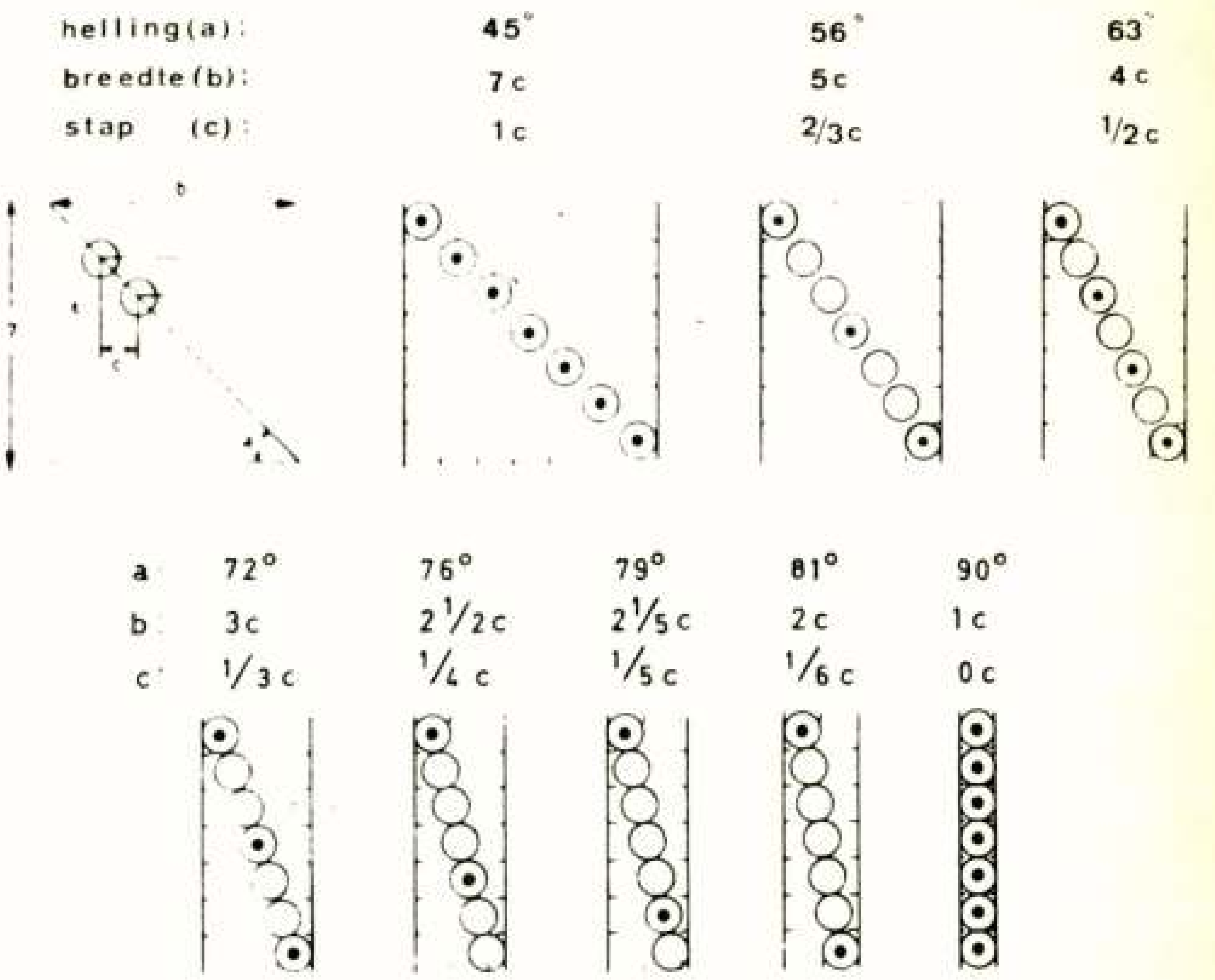


Fig. 7. Verschillende horizontale stappen.
= afdruk op het raster
= interpositie

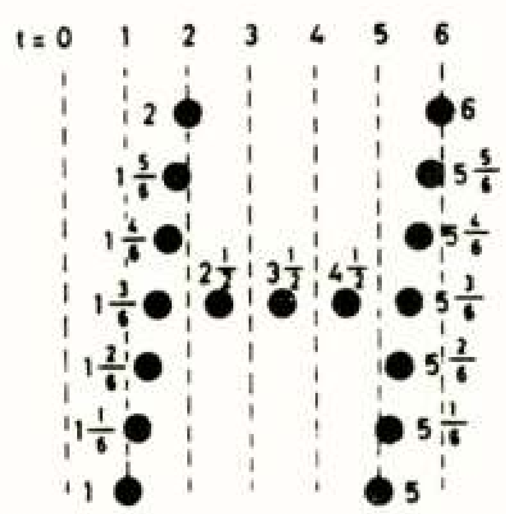


Fig. 8. Een kursieve letter gevormd door interposities.

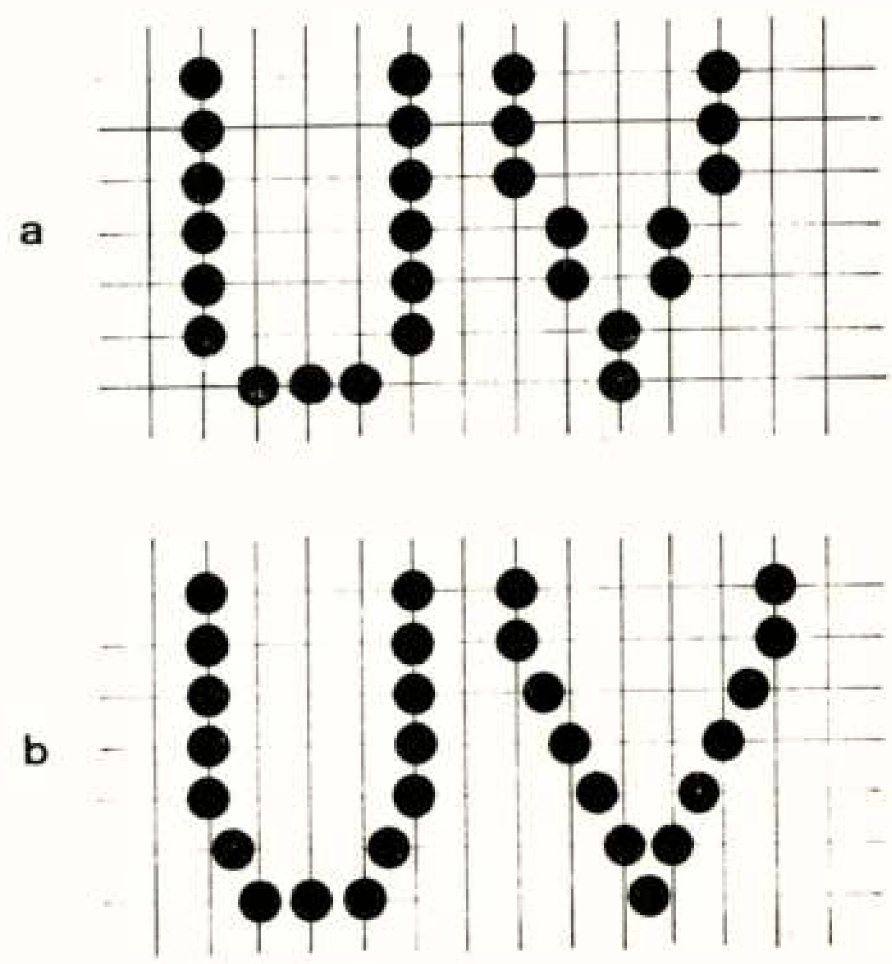


Fig. 9. a) U en V met de elementen op het raster.
b) U en V met interposities.

Ook blijken beide maatregelen zeer wenselijk indien men naast hoofdletters ook kleine letters wil ontwerpen.

Waarom deze betere leesbaarheid en uitbreiding van het aantal symbolen? Om de mozaïek alfabetten gelijkwaardig te maken aan de typedruk alfabetten, om de indruk weg te nemen dat het hier gaat om een tweede-rangs drukmethode, die goed genoeg is voor rekeningen en ponskaarten.

5. NIEUWE ALFABETTEN

Het kreëren van nieuwe letter- en cijfervormen behoort evenwel niet tot de elektrotechniek, maar kan gerekend worden tot het nog jonge vakgebied van de industriële vormgeving.
De hoogleraren Crouwel en Dirken tezamen met studenten van deze vakrichting hebben het ontwerpen en beproeven van nieuwe symboolvormen ter hand genomen. Uitgangspunt is de mozaïek verreschrijver, die in het voorgaande beschreven is. Dit betekent evenwel niet, dat de eigenschappen van deze verreschrijver niet ter discussie staan. Zo heeft men zich onder andere afgevraagd:

a. hoe groot moet het aantal elementen in vertikale zin zijn?
   Antwoord: zeven, bij minder krijgt men groot kwaliteitsverlies, bij meer geen wezenlijke bijdrage.
b. wat moet de vorm zijn van de elementen, rond of vierkant?
   Antwoord: rond, want dan is het verschil in aansluiting tussen een horizontale resp. vertikale lijn enerzijds en een schuine lijn anderzijds het geringst.

Uitgaande van variabele symboolbreedte en interposities hebben de industriële ontwerpers twee volledige alfabetten ontworpen, één met een verdeling van het interval tussen de kolommen in twee gelijke delen (Delft 1/2 alfabet) en één met een verdeling in drie gelijke delen (Delft 1/3 alfabet), fig. 10. Beide alfabetten maken ge-

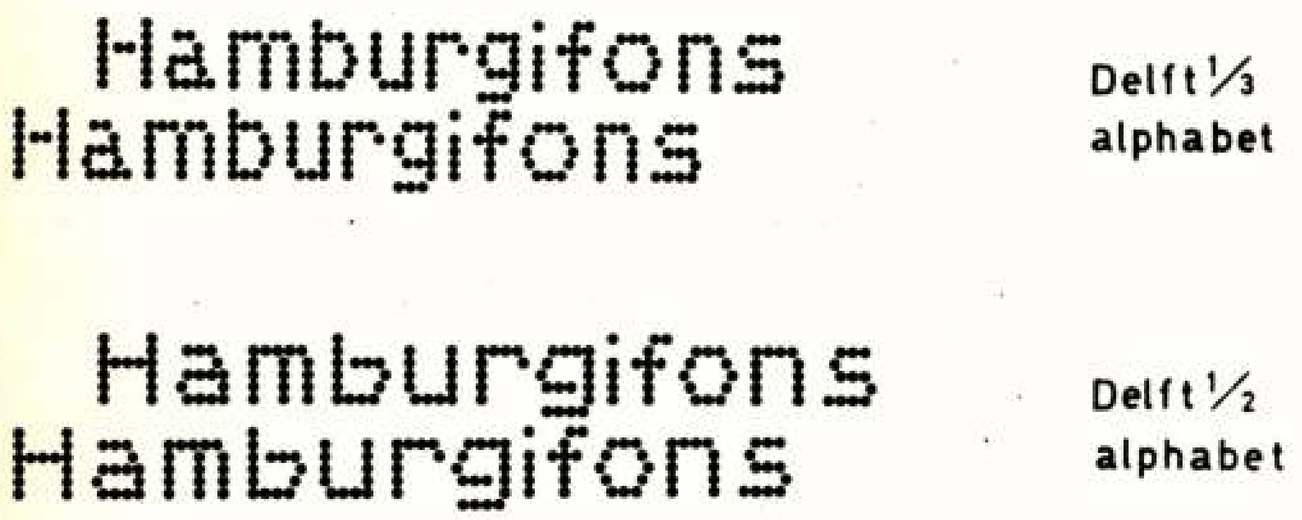


Fig. 10. Enige letters van twee nieuwe alfabetten (Crouwel en Dirken 1972).

bruik van variabele symboolbreedte. De ruimte tussen de symbolen wordt verkregen door aan weerszijden van het symbool wit op te nemen als onderdeel van het symbool. De breedte van de symbolen bedraagt een geheel aantal kolommen. Het is nog te vroeg om de merites van beide alfabetten tegen elkaar af te wegen en tegen de gebruikelijke symbolen met allen dezelfde breedte. Een van de belangrijkste kriteria - het onderling vergelijken van veel gedrukt materiaal van beide alfabetten - heeft nog niet plaats gevonden. Het wacht op de voltooiing van een verreschrijver, waarmee beide en ook nog andere alfabetten gedrukt kunnen worden. Het hart van een dergelijk apparaat is een variabele read-only-memory. In de door ons laboratorium gebouwde uitvoering is dit een kerngeheugen met 2048 woorden van 8 bit. De te drukken tekst wordt aangeboden in het internationale telegraaf alfabet no. 5 (ITA 5), aanvaard door ISO en CCITT. Dit code alfabet heeft de mogelijkheid om hoofd- en kleine letters te onderscheiden. Het kerngeheugen is verdeeld in 128 cellen van 16 woorden. Hierin wordt de vorminformatie van de verschillende symbolen bewaard. Per gedrukte kolom zijn twee woorden aanwezig van 8 bit. Per beeldelement zijn twee bit aanwezig. De vier mogelijkheden hiervan hebben de volgende betekenis:

0. 00 geen afdruk
1. 01 afdruk op het raster
2. 10 afdruk 1/3 stap vertragen
3. 11 afdruk 2/3 stap vertragen

Op deze wijze zijn 14 bit van de twee woorden gebruikt. De twee laatste worden gebruikt voor besturingsdoeleinden. Om dit kerngeheugen van informatie te voorzien zijn de ontworpen symbolenvormen eerst gecodeerd, op een papierband geponst en daarna ingevoerd in het kerngeheugen.
Met het beschreven apparaat kan voldoende gedrukt materiaal gemaakt worden om beide alfabetten te vergelijken onder nauwkeurig geregelde omstandigheden (o.a. belichting) met een groot aantal proefpersonen.
Kleine korrekties in de symboolvormen kunnen nog gemakkelijk worden aangebracht. Indien op deze wijze een alfabet wordt uitgekozen, kan voor dit alfabet een niet te wijzigen read-only-memory in de halfgeleider techniek worden vervaardigd.

6. NIEUWE MOGELIJKHEDEN VOOR DE VERRESCHRIJVER

Een nieuw beter leesbaar alfabet zal de mozaïek verreschrijver een veel wijder toepassingsgebied geven dan de thans bestaande typedrukverreschrijver. De verwachte kostprijs is belangrijk lager, het lawaai belangrijk geringer, hoofd- en kleine letters kunnen gemakkelijk worden toegepast. Een gekombineerd gebruik als elektrische schrijfmachine en als verreschrijver schijnt mogelijk.
En ook dit laatste kan verregaande consequenties hebben. Kantoorschrijfmachines zullen wellicht niet langer onafhankelijk zijn, maar verbonden worden met een computer, met de volgende voordelen: interne post kan direkt als telegram gezonden worden, een centraal archief kan op magneetbanden worden bewaard, de computer helpt met het indelen van de brief en rapport, etc. Een bijzondere vorm van het laatste is het automatisch uitvullen van de regel met behulp van variabele spaties tussen de woorden. De mozaïek verreschrijver kan echter ook op eenvoudige wijze voor beeldoverdracht gebruikt worden, waardoor vreemde letters, b.v. Grieks, Chinees, wiskundige formules, zon-

der veel moeite in de tekst kunnen worden opgenomen. Maar hierbij behoeft het niet te blijven; ook tekeningen, grafieken, handschrift, handtekeningen, etc.
Het verschil met de thans gebruikelijke facsimile is, dat 7 lijnen tegelijk worden afgetast aan de zendzijde en 7 lijnen tegelijk gereproduceerd aan de ontvangzijde.
Het aantal beeldlijnen (3) per mm zal in vele gevallen toereikend zijn. Een uitbreiding van het ITA 5 alfabet is in ons laboratorium ontworpen, waardoor een overgang naar de facsimile mode en terug op eenvoudige wijze mogelijk is. Computer systemen kunnen nu grafieken en tekeningen afdrukken tussen de alfanumerieke symbolen. In vele gevallen kan nu een plotter vervallen, fig. 11.

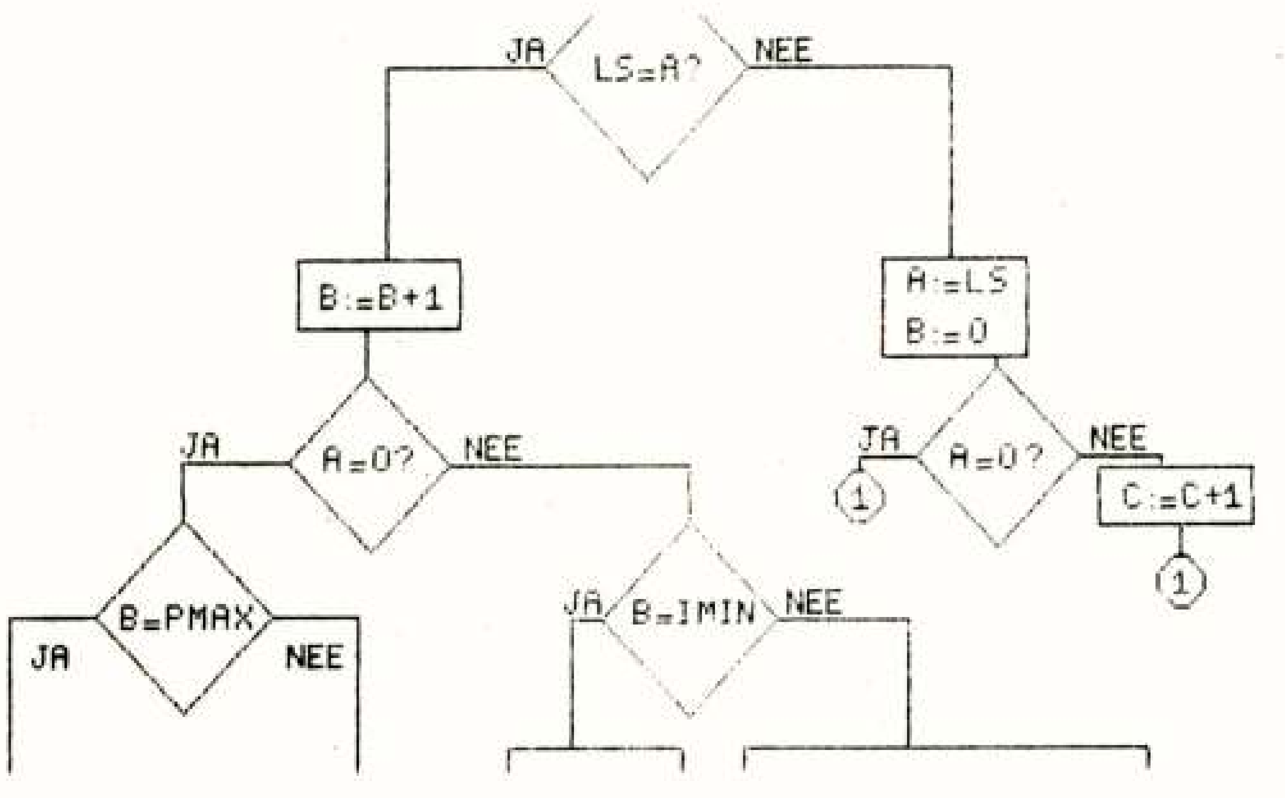


Fig. 11. Voorbeeld van facsimile en tekst.

Bij de kantoorschrijfmachine kunnen vreemde letters en wiskundige symbolen worden gebruikt, die nu door de reeds beschreven schrijfmachine-computer geleverd worden.
De vorminhoud van deze symbolen is in het geheugen van de computer opgenomen. Telegrammen kunnen nu tekeningen, briefhoofden en handtekeningen bevatten.
Banken kunnen ter verifikatie de handtekeningen van hun kliënten via het telefoonnet zonder menselijke tussenkomst opvragen uit een centraal handtekening geheugen.
Dagblad redakties kunnen de gehele krant op deze wijze overzenden naar geheel automatische drukkerijen.
In de vroege morgenuren kan het praktisch niet gebruikte telecommunicatienet benut worden voor verspreiding van het ochtendblad. Deze wordt dan direkt afgedrukt bij de abonnees thuis.

Literatuur

J.M. Dirken, H. van Campenhout, J.L. de Kroes, W. Crouwel et al.
Alphanumeric symbols for mosaic printers and display tubes.
Sixth International Symposium on Human Factors in Telecommunications, Stockholm 1972.

Voordracht gehouden op 27 april 1972 in de T.H.Delft, Afdeling der Elektrotechniek, tijdens werkvergadering n° 223.

GENERATORSYSTEMEN VOOR ELECTRONISCHE MUZIEKINSTRUMENTEN

Dr.Ir. N.V. Franssen
Philips Research Laboratories

A description is given of several aspects of the acoustic generator, as the human voice and the wind-instruments in relation to its imitation by electronic oscillators.

Special attention is paid to frequency divider systems with only one main generator but nevertheless capable of generating simultaneously all the tones of the equal-tempered tone-scale.

In an appendix Mr. C.M. Hart will give a more detailed description of a special integrated circuit designed for this purpose and carried out in new circuit techniques.

Inleiding

De traditionele muziekinstrumenten kan men wat betreft hun methode van klankopwekking in een drietal categorieën verdelen.

Allereerst heeft men instrumenten waarbij een of ander impulsachtig of ruisachtig signaal gevormd wordt en via een passief filter aan de omgevende lucht overgedragen. Dit is de categorie van het slagwerk, de piano en de getokkelde snaren. Vervolgens heeft men de mechanische generatoren die een min of meer continu signaal leveren en dit via een filter dat al dan niet deel kan uitmaken van het mechanische generatorsysteem, aan de omgevende lucht overdragen. Hiertoe behoren de strijkinstrumenten, de windmachine en zo men wil de zingende zaag. Tenslotte hebben wij de akoestische generatoren zoals de houten en koperen blaasinstrumenten, de orgelpijpen en de blokfluiten.

Voor de electronicus is deze laatste categorie het meest interessant, omdat de hierbij gebruikte generatorsystemen veel lijken op bekende electronische oscillatoren en omdat de erdoor voortgebrachte klankkleuren duidelijk model gestaan hebben voor de klankkleuren in electronische orgels.

In de hiernavolgende bladzijden zullen wij eerst aandacht besteden aan deze akoestische generatoren; daarna zullen wij laten zien hoe bepaalde eigenschappen, met name het min of meer ruisend karakter, in electronische generatorsystemen te realiseren is en ten slotte zullen wij de generatorsystemen voor commerciële apparaten bespreken.

De akoestische generatoren (2)

Een der belangrijkste akoestische generatoren is de menselijke stem. In fig. 1a geven wij een schematische opbouw hiervan. Met E,R zijn de longen aangegeven; met C_1 de subglottale ruimte; L en C_2 duiden de stembanden aan; daarbij duidt L op hun massa en C_2 op hun compliantie. De doorgang die tussen de stembanden ontstaat bij voldoende drukverschil tussen beide zijden noemen we Tr en de ingangsimpedantie en stralingsimpedantie van het mondkanaal Z_i c.q. Z_u.

In fig. 1b is het electrisch aequivalent gegeven, waarbij dezelfde symbolen gebruikt zijn. Voldoend grote verplaatsing van de stembanden zodat er een doorgang ontstaat correspondeert met zoveel spanning op C_2 in het electrisch aequivalent dat de transistor Tr geleidend wordt. Het Bernoulli-effect dat in het akoestisch systeem meehelpt om de stembanden weer te sluiten hebben wij verwaarloosd; essentieel is het niet: het verhoogt alleen de zekerheid van functioneren.

Zou Z_i gelijk aan nul zijn dan geeft fig. 1b het exacte schema van een Colpitt-oscillator. Nu met de aanwezigheid van Z_i is de afstemming wat gecompliceerder. Men kan echter aantonen dat genereren mogelijk is in die frequenties waarvoor de impedantie van de serieschakeling C_1, L, C_2 en Z_i een waarde nul heeft. Nu heeft de ingangsimpedantie Z_i het karakter van de ingangsimpedantie van een lange leiding en is de combinatie C_1, C_2 en L een gewone serieschakeling. Verwaarlozen wij demping dan kunnen wij volstaan met het uit-

zetten van de reactanties van beide impedantiesystemen als functie van de frequentie (fig. 2).

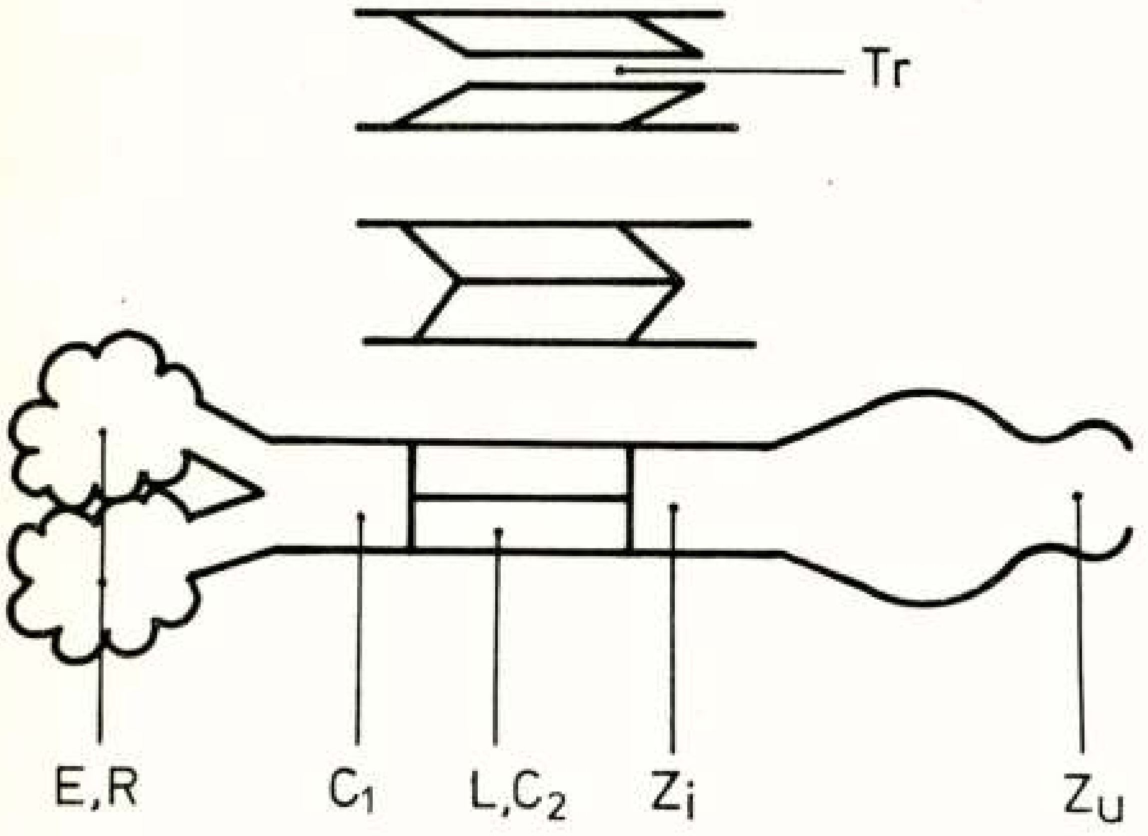


Fig. 1a. Schema van de stem.

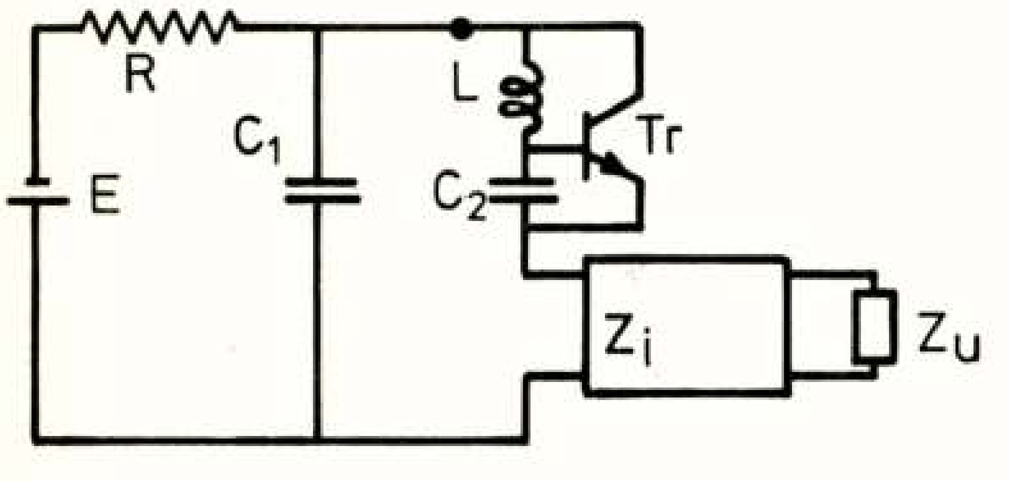


Fig. 1b. Electronisch aequivalent.

We vinden dan voor het getekende geval 3 bijzondere frequenties, F_0 in de buurt van de L, C_1, C_2-resonantie d.w.z. in de buurt van de stembandafstemming en F_1 en F_2 in de buurt van de resonanties van het mondkanaal. Uiteraard zal het systeem slechts in één frequentie gaan genereren meestal hier F_o - en zal van de beide andere afstemfrequenties de kringkwaliteit verhoogd worden. Deze frequenties worden de formanten genoemd. Bij de koperen blaasinstrumenten die in principe dezelfde opbouw hebben - de lippen vervullen hier de functie die bij de stem de stembanden hebben - zal echter één van de frequenties van de akoestische resonator uitgekozen worden. Nog duidelijker zien wij dit bij de rietinstrumenten. Wanneer men daar de werking nagaat lijkt het systeem meer op een Hartley-oscillator maar ook daar zijn weer twee afstemsystemen aanwezig: de pijp en het riet.

De pijp bepaalt hier de gegenereerde frequentie en het riet de formant. Men moet zich de werking nu zo voorstellen dat een bepaalde frequentie gegenereerd wordt en in het akoestische versterkersysteem vervormd wordt en dat de als formantfilters fungerende afstemmingen hiervan hogere harmonischen bevoordelen.

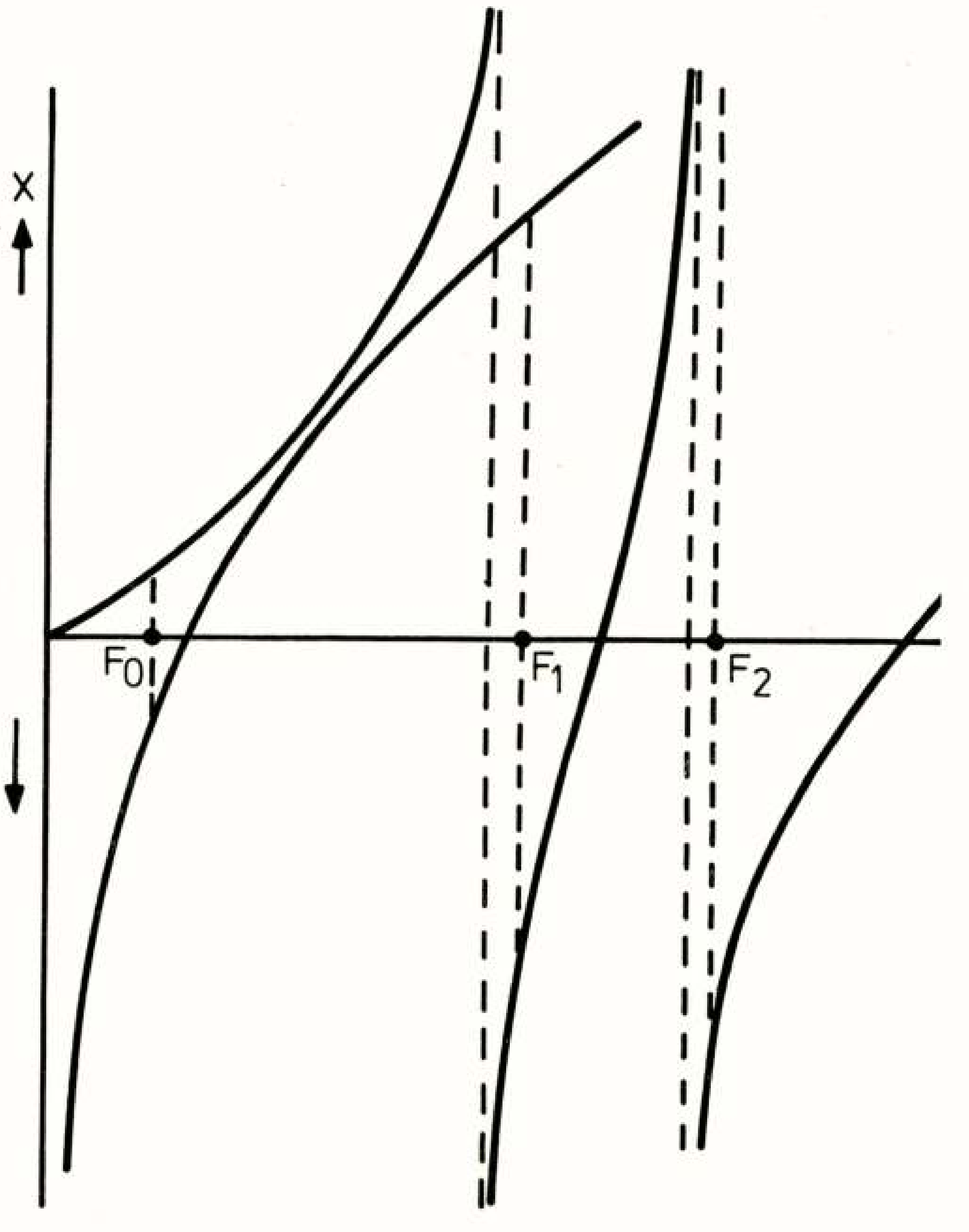


Fig. 2. Genereerfrequenties van de stem.

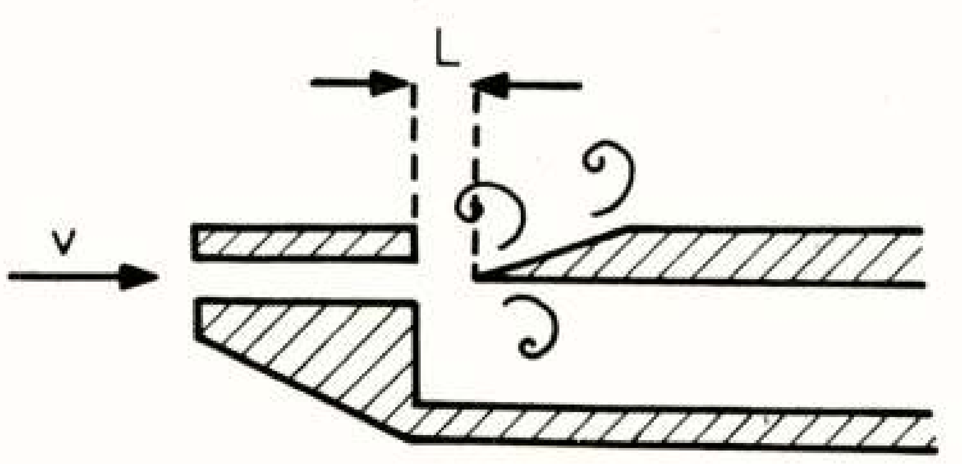


Fig. 3. De wigtoon bij blokfluiten.

Ook bij de blokfluiten en de meeste orgelpijpen kan men weer twee afstemsystemen onderscheiden. Hier zijn het uiteraard weer de lengte van de pijp en verder het mechanisme van de wigtoon (fig. 3) d.w.z. de toon die

optreedt wanneer een luchtstroom een wigvorming obstakel ontmoet. De wigtoon is niet erg constant; zijn frequenties komen ongeveer overeen met $\frac{n.v}{l}$ waarin l de afstand tussen uitblaasspleet en wig is en v de snelheid van de luchtstroom en n de waarden 1,2,3 enz. bezit.

De ruisende generator (6)

Een essentieel kenmerk bij de hier besproken akoestische generatoren is het aanwezig zijn van meer dan één eigenresonantie; uitgaande van de stelling dat elke generator in feite een selectieve ruisversterker is en uitgaande van het feit dat de toegevoerde luchtstroom nogal veel ruiscomponenten bevat kan men verwachten dat de gegenereerde signalen zelf nogal veel ruisachtige fluctuaties vertonen. Temeer daar de responsie van alle resonanties tesamen het uitsturingsgebied van het versterkersysteem moet beslaan kan men verwachten dat de onderscheidene boventonen van een toon nogal gemakkelijk kunnen "ademen", dat ze wat in amplitude en frequentie kunnen variëren.

Dit blijkt electrisch vrij gemakkelijk te realiseren vooral indien men sinusvormige signalen genereren wil en een toon door sommatie van grondtoon en boventonen wil samenstellen, zoals in een Hammond-orgel gebeurt. Uiteraard vertoont een electronische generator in principe reeds van nature dit ruiskarakter maar in het algemeen is de aanwezige ruis laag van niveau en het uitgangssignaal hoog met bovendien vaak een momentane begrenzing van de amplitude.

Kiest men echter een integrerende begrenzing van de versterking bijv. met behulp van een langzame NTC weerstand en voegt men aan de ingangstrap van de generator extra ruis toe dan kan men een willekeurig brede frequentieband genereren (fig. 4).

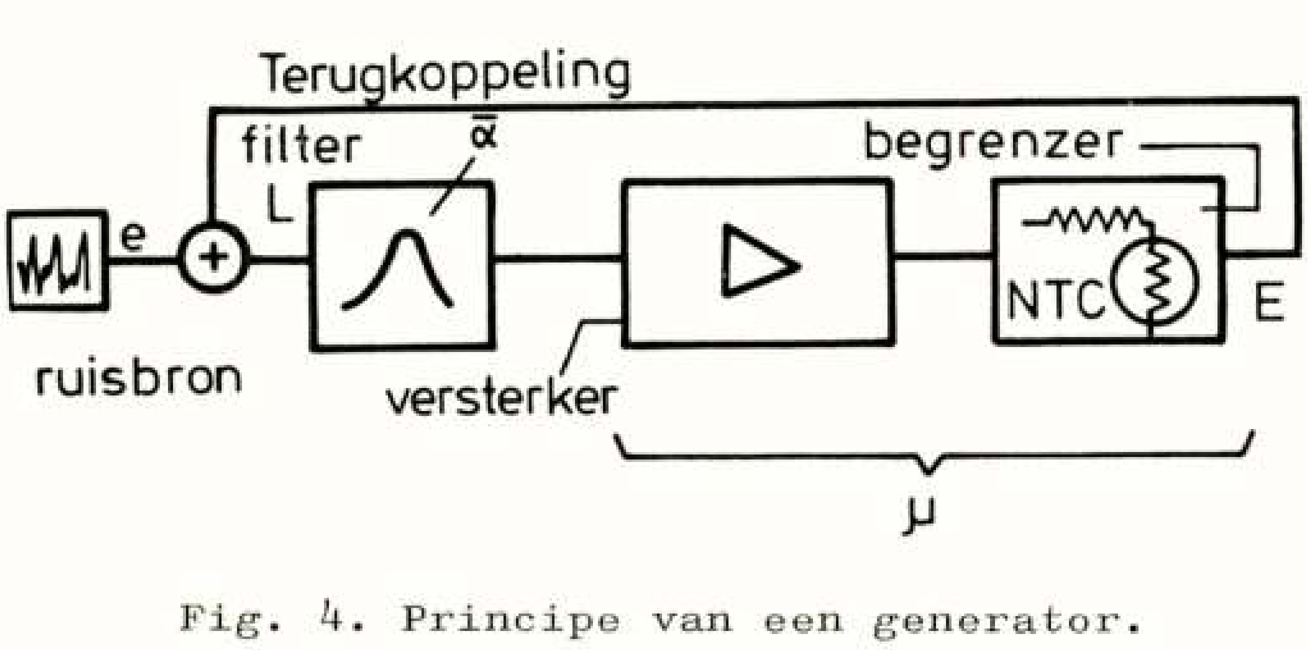


Fig. 4. Principe van een generator.

Laat immers de versterker tesamen met de begrenzer een variabele waarde μ bezitten voor de versterking. Laat verder het filter een overdrachtsfactor hebben, voor te stellen door $\bar{\alpha}$; laat het niveau waarop de begrenzer het uitgangssignaal brengt gelijk aan E zijn en e de ruisspanning. Dan wordt

$$E = \frac{e\bar{\alpha}\mu}{1-\bar{\alpha}\mu}$$

Naarmate e groter wordt zal μ kleiner moeten zijn om als eindwaarde E op te leveren. Daardoor daalt de terugkoppeling en wordt de dempingsreductie geringer en de bandbreedte groter. Door verandering van de grootte van e kan men een in grootte constant signaal laten variëren van een practisch zuivere sinus tot een zeer brede ruisband overeenkomstig de bandbreedte van het niet teruggekoppelde filter.

Daar de generator slechts "belangstelling" heeft voor het frequentiegebied uit de ruis dat om zijn eigen afstemming ligt, kan men voor een volledig electronisch orgel met bijv. 100 generatoren van volgens halve tonen toenemende frequentie volstaan met slechts één ruisgenerator.

Wegens de grote nauwkeurigheid in frequentie die bij muziekinstrumenten noodzakelijk is moeten de afstemfilters bij te stemmen zijn. Daarbij zou men dan wel de overdracht in amplitude zo constant mogelijk willen houden. Twee overdrachtssystemen die deze eis vervullen zijn gegeven in fig. 5.

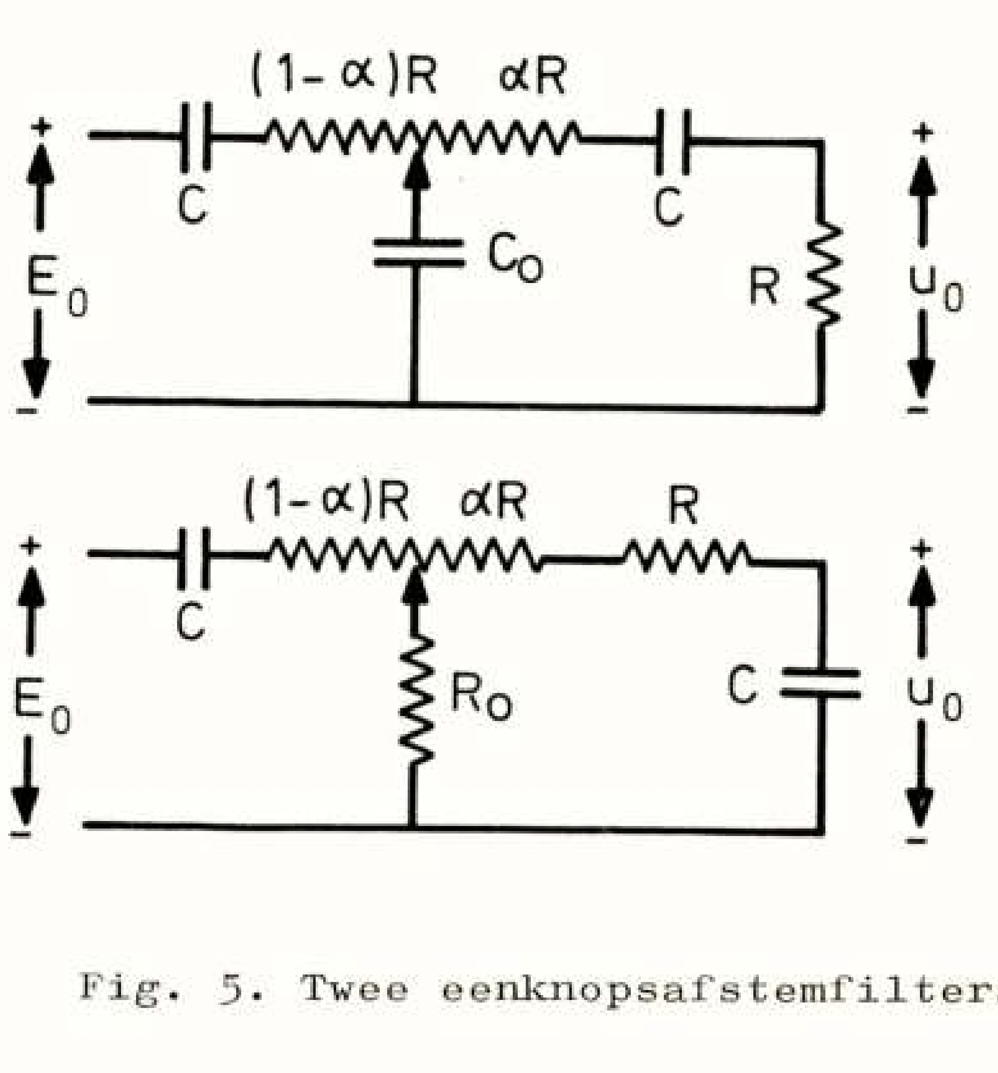


Fig. 5. Twee eenknopsafstemfilters.

Zij lijken veel op een tak van een brug van Wien maar bevatten slechts één variabele potentiometer. De overgedragen spanning hangt niet af van de afstand van de loper. In de literatuur ben ik deze schakelingen echter nooit tegengekomen.

Praktijk systemen

Uiteraard zou een electronisch orgel bij voorkeur generatoren moeten bevatten die soortgelijke kenmerken vertonen als hun akoestische collega's. Daar hun prijs dan waarschijnlijk ook vergelijkbaar zou worden met die van de akoestische generatoren is dit geen haalbare kaart. Ook een verzameling ruisende generatoren is relatief duur. Daarom is men er reeds lang toe overgegaan te werken met series tweedelers voor de octaven en 12 hoofdgeneratoren voor de 12 tonen in het octaaf (fig. 6).

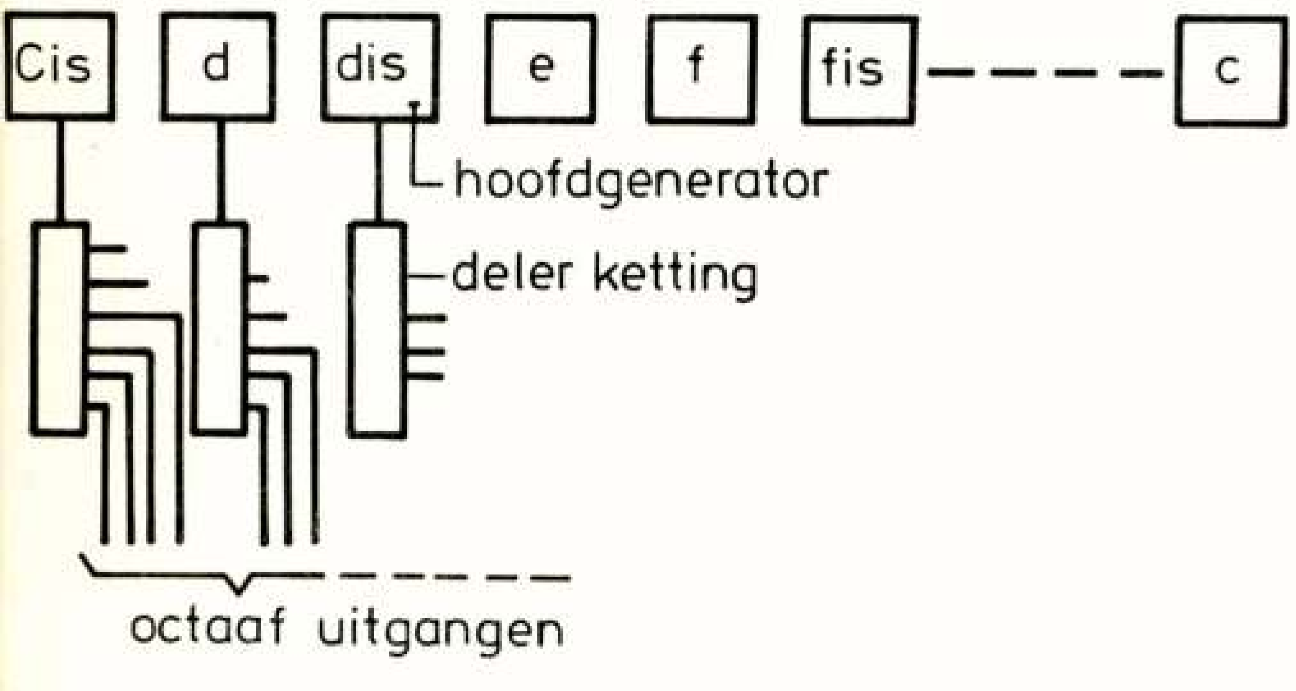


Fig. 6. Twaalf-generatoren systeem.

Met name door de integratietechnieken kan men op deze wijze generatorsystemen opbouwen die relatief goedkoop zijn en waarbij alleen voor de 12 hoofdgeneratoren frequentiestabiliteit nodig is. Het afregelen en stemmen van het electronisch orgel beperkt zich dan tot het verrichten van deze taak bij de 12 hoofdoscillatoren.

Systemen met één generator

Daar er tussen de frequenties van de tonen uit de gelijkzwevend getempereerde chromatische toonladder vaste verhoudingen bestaan, ligt het voor de hand te trachten deze frequenties af te leiden uit één generator met behulp van electronische schakelingen (1) (7) (3).

Het op het eerste gezicht meest voor de hand liggende idee is, uit te gaan van een generator op hoge frequentie die gevolgd wordt door 12 parallel geplaatste delers die deze frequentie omzetten in de twaalf gewenste frequenties. Hierachter moeten dan weer ketens met tweedelers geplaatst worden. Wil men echter een voldoende nauwkeurige benadering van de gewenste frequenties hebben, dan worden de deeltallen nogal groot. In tabel 1 zijn de kleinste waarden gegeven die men vindt wanneer men als eis stelt dat alle kwintverhoudingen kleiner dan 1,5 zijn of "onderzwevend".

Noot	Relatieve frequentie	Deeltal
c	1,000000	644
cis	1,059463	607
d	1,122462	574
dis	1,189207	544
e	1,259921	511
f	1,334840	482
fis	1,414214	455
g	1,498307	430
gis	1,587401	405
a	1,681793	383
ais	1,781797	361
b	1,887749	341
c	2,000000	322

Tabel 1. Deeltallen voor een gelijkzwevend gestemde chromatisch toonladder.

De reine kwint is nl. 1,5 en de getempereerde kwint moet kleiner zijn. Deze hoge deeltallen zijn natuurlijk alleen practisch hanteerbaar wanneer ze verwerkt kunnen worden in geïntegreerde circuits. Daar de deeltallen betrekkelijk weinig gemeenschappelijke factoren hebben valt er weinig te combineren en zal men verscheidene IC's moeten maken, hetgeen weinig aantrekkelijk is.

Laat men de eis vallen van absolute periodiciteit van de uitgangssignalen, dan zijn er meer mogelijkheden. Dan immers hoeft slechts de gemiddelde frequentie constant te zijn in die mate als door het oor als constant ervaren wordt. In een binair systeem

laat zich een dergelijke opzet goed realiseren (4).

In tabel 2 zijn de twaalf tonen uit het octaaf en de binaire representatie van hun frequenties gegeven.

Noot	Relatieve frequentie	Binaire representatie
c	1,000000	1,0000000000
cis	1,059463	1,0000111101
d	1,122462	1,0001111101
dis	1,189207	1,0011000010
e	1,259921	1,0100001010
f	1,334840	1,0101010111
fis	1,414214	1,0110101000
g	1,498307	1,0111111110
gis	1,587401	1,1001011010
a	1,681793	1,1010111010
ais	1,781797	1,1100100001
b	1,887749	1,1110001101
c	2,000000	10,0000000000

Tabel 2. Binaire representatie voor de relatieve frequenties van een gelijkzwevend gestemde chromatische toonladder.

Men kan nu een pulsgenerator nemen gevolgd door een aantal tweedelers en deze zo schakelen dat er op een aantal successieve punten signalen uit komen met gelijk pulsduur, maar met telkens gehalveerde herhalingsfrequentie terwijl de pulsen bovendien nooit gelijktijdig optreden (fig. 7).

Men kan dan een aantal uitgangen bij elkaar voegen overeenkomstig een der binaire getallen uit tabel 2 en men krijgt dan een pulsrij met de correcte gemiddelde relatieve frequentie. Om deze pulsrij voldoende regelmatig te maken moet men nu de frequentie van de pulsgenerator ongeveer 2^8 à 2^{10} hoger leggen en na het samenstellen van de pulsrij deze rij door hetzelfde bedrag delen. In fig. 8 is dit procédé nog eens aangegeven met terwille van de eenvoud als noot de zuivere kwint (relatieve freq. 1,5 of binair 1,1).

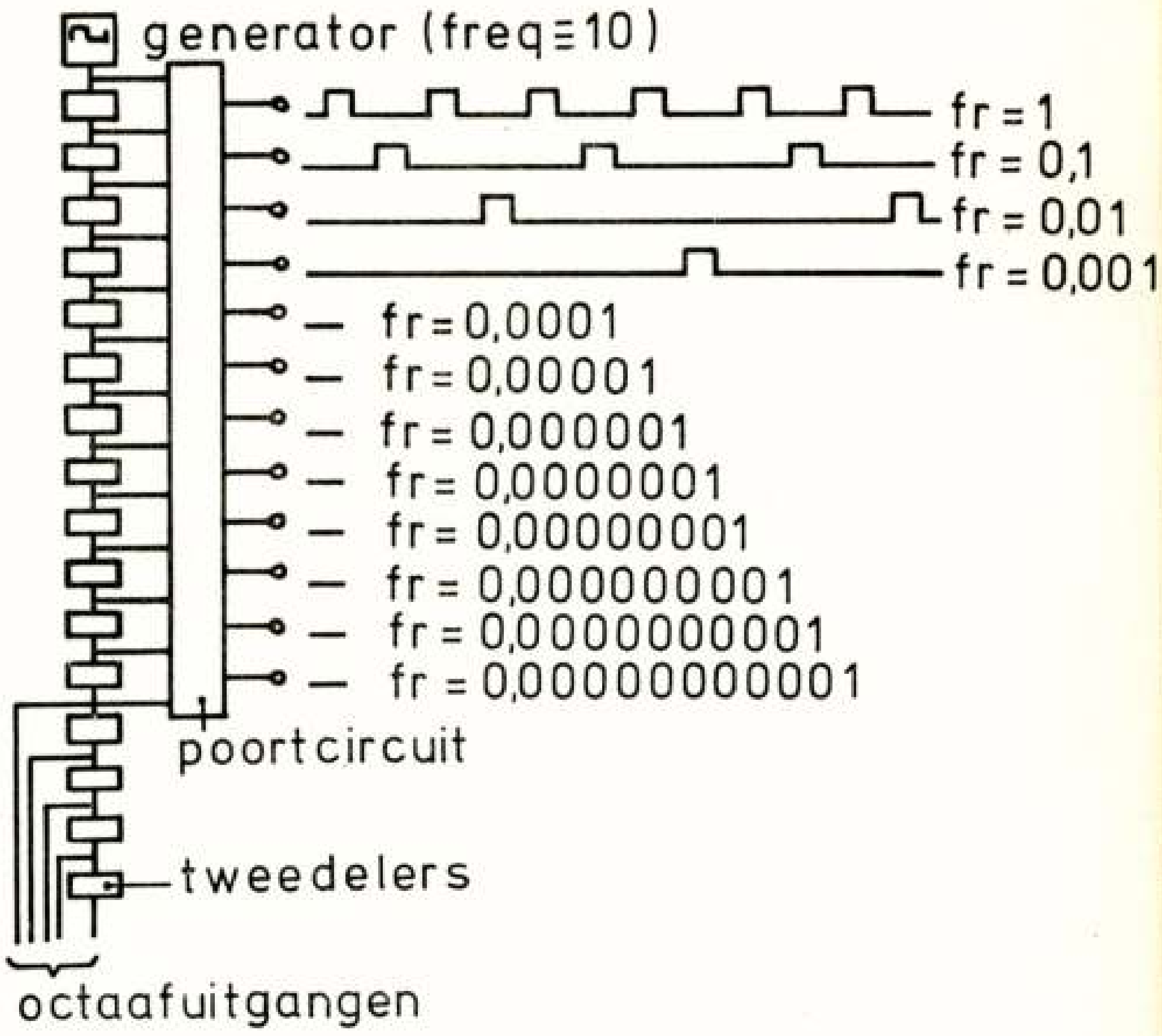


Fig. 7. Binair systeem.

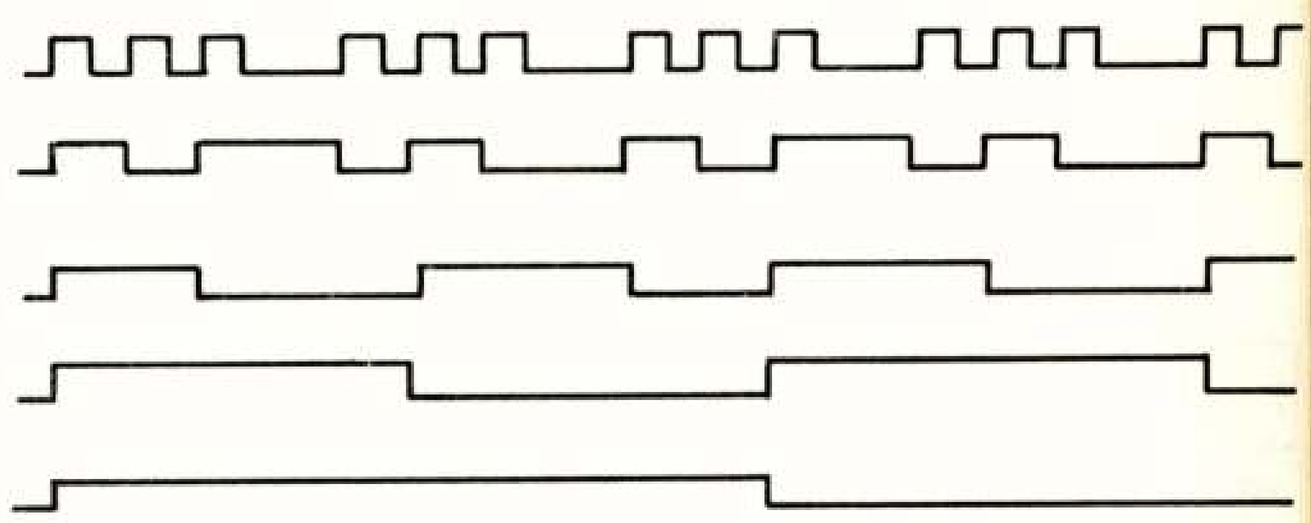


Fig. 8. Egaliseren van de frequentie 1.1 door voortgezette deling.

Dit voorbeeld wijst er reeds op dat de schakeling meer mogelijkheden geeft dan nodig is. We hoeven immers niet verder te gaan dan het uitsluitend genereren van een gelijkzwevend getempereerde notenrij.

De complete schakeling zelf is in ongeveer 30 geïntegreerde circuits van 3 verschillende types onder te brengen en men kan zich afvragen of niet het zich specifiek beperken tot het gelijkzwevende systeem, aantal en diversiteit van de geïntegreerde circuits zal doen dalen.

Bij een gelijkzwevende stemming is de frequentieverhouding van twee naast elkaar gelegen noten constant. Men zou dan ook de schakeling uit het binaire systeem kunnen overnemen die gebruikt wordt om vanaf de uitgangsnoot een halve toon lager uit te komen, deze nieuwe pulsrij weer gebruiken als ingangssignaal voor een tweede gelijk circuit etc. (fig. 9). Wanneer men de hele bewerking inclusief de volledige benodigde delerkettingen in een

circuit zou weten onder te brengen, zou men aan 12 identieke circuits genoeg hebben.

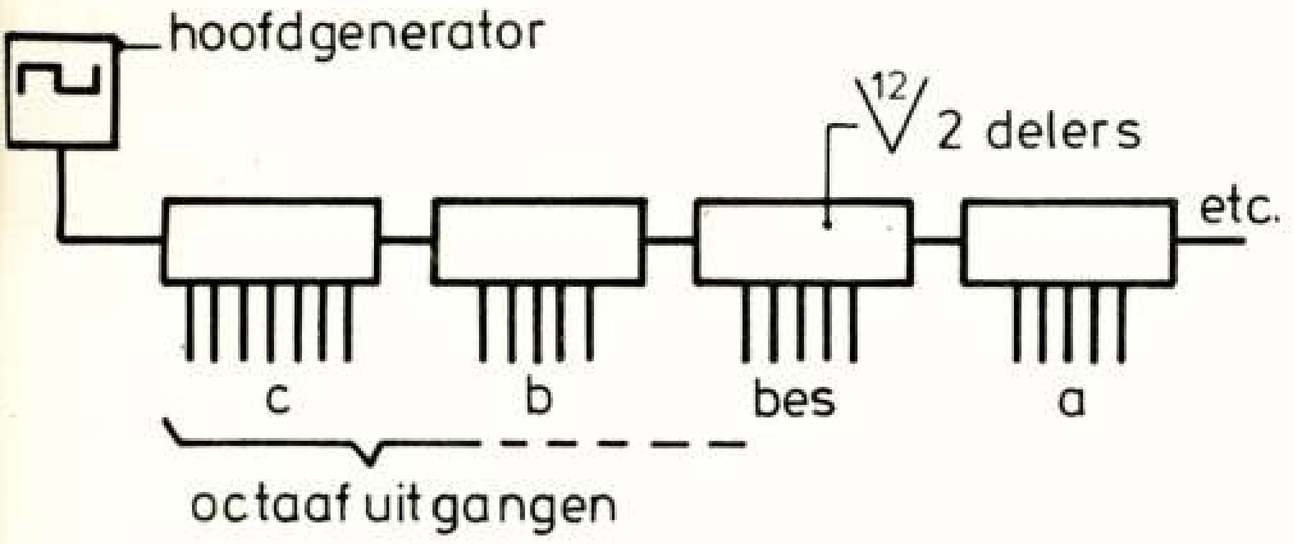


Fig. 9. Het $\sqrt[12]{2}$-delers systeem.

Een schakeling zoals in fig. 7 is daarvoor te ingewikkeld. Het daarin voorkomende systeem van poortschakelingen moet signalen opleveren die voor de samenstelling van alle tonen gebruikt gaan worden. Bovendien zal men een nauwkeuriger waarde moeten aanhouden voor een halve-toonverschuiving en dus meer binaire cijfers gebruiken dan aangegeven in tabel 2. Men zal immers 12 maal dezelfde bewerking gaan toepassen en daardoor een toenemende fout invoeren. Dit alles leidt ertoe dat in het poortcircuit veel kruisende verbindingen zullen gaan optreden die men in een geïntegreerd circuit liever vermijdt.

Een schakeling die in haar essentiële configuratie geen kruisende verbindingen heeft en zeer nauwkeurig een halve toon verlaagt (binaire code is 0,111100011010001 t.o.v. 1,000000000000000) is gegeven in fig. 10. Wanneer men hiervan de werking analyseert vindt men dat men telkens successief een kleiner getal gebruikt om een groter te corrigeren en beurtelings bits aftrekt en optelt. De relatieve uitgangsfrequentie wordt gegeven door +1,0 - 0,0001 + 0,0000001 - 0,000000001 + 0,0000000001 - 0,00000000001 + 0,000000000000001 = 1,000000100100001 - 0,00010000101 = 0,111100011010001. De gegeven schakeling bevat tevens de delerketting die het ingangssignaal voldoende glad maakt (eerste 8 à 10 delertrappen) en de delerketting die de octaven oplevert (de resterende delers). Een hoofdgenerator en 12 circuits zijn dan ook voldoende om alle tonen voor een electronisch orgel in een zeer nauwkeurig gelijkzwevende stemming te genereren.

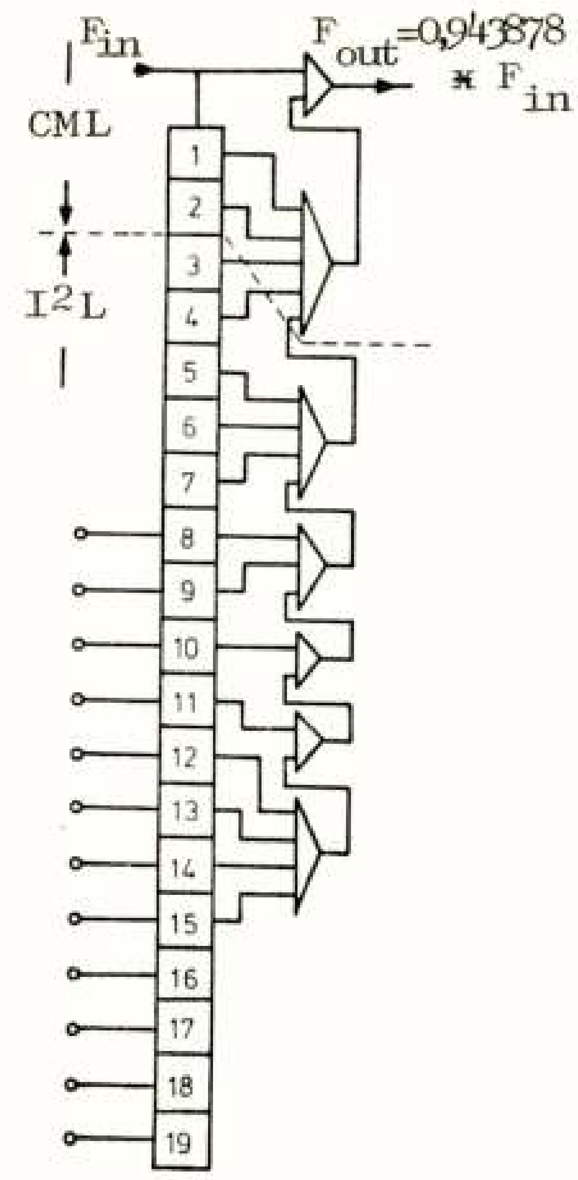


Fig. 10. $\sqrt[12]{2}$ deler.

Noot	Relatieve freq. afgerond exact	Rel.frequentie bij deeltalsys.	Rel.frequentie binair systeem	Rel.frequentie $\sqrt[12]{2}$ deler
c	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000
cis	1,059463	1,060956	1,059570	1,059510
d	1,122462	1,121951	1,122070	1,122507
dis	1,189207	1,183824	1,189453	1,189250
e	1,259921	1,260274	1,259766	1,259961
f	1,334840	1,336100	1,334961	1,334877
fis	1,414214	1,415385	1,414063	1,414248
g	1,498307	1,497674	1,498047	1,498337
gis	1,587401	1,590123	1,587891	1,587427
a	1,681793	1,681462	1,681641	1,681813
ais	1,781797	1,783936	1,782227	1,781812
b	1,887749	1,888563	1,887695	1,887756
c	2,000000	2,000000	2,000000	2,000000

Tabel 3. Relatieve frequenties bij diverse systemen.

Tabel 3 toont tenslotte deze nauwkeurigheid. Men vindt daar naast elkaar de notennaam, de juiste relatieve frequentie en achtereenvolgens drie benaderingen hiervan n.l. volgens de delermethode van deling door grote getallen de binaire methode en als laatste met behulp van de zojuist beschreven $\sqrt[12]{2}$ deler.

Het is buiten kijf dat dit laatste systeem hoewel veel eenvoudiger veel nauwkeuriger is.

Appendix door C.M. Hart

Zoals uit fig. 10 blijkt worden de eerste 15 delertrappen gebruikt om uit de binnenkomende pulsrij af en toe een puls te verwijderen. Dit kan daarom geschieden met een nauwkeurigheid van $0{,}5 \cdot 2^{-15}$ of $1{,}5 \cdot 10^{-5}$. De resterende onregelmatige pulsrij ondergaat in een volgende schakeling weer dezelfde bewerking en dit zo achtereenvolgens 12 maal totdat van de pulsrij gemiddeld ongeveer de helft is overgebleven en de onregelmatigheid zo groot is dat het oor niet in staat is de gemiddelde frequentie waar te nemen. Herhaald door 2 delen maakt de relatieve onregelmatigheid steeds kleiner. Luisterproeven tonen aan dat de ruis nauwelijks meer waarneembaar is als uitgegaan wordt van een frequentie van 4,3 MHz van de hoofdgenerator.

Aangezien alle tonen van het muziekinstrument nu onderling vast t.o.v. elkaar gestemd zijn kan men de hoofdgenerator willekeurig variëren en is bv. transpositie eenvoudig te realiseren. Om de schakeling nu geschikt te maken voor alle denkbare applicaties is als eis gesteld dat de frequentie van de hoofdgenerator tot ca. 12 MHz moet kunnen gaan en het aantal delertrappen 19 bedraagt.

Voor de realisering in de vorm van een geïntegreerde schakeling is de keuze gemaakt om de delers en poorten welke de hoogste frequenties verwerken uit te voeren in z.g. current mode logic (CM) (8) en de rest in de bij Philips ontwikkelde integreerbare injectie logica (I^2L) (5). In fig. 11 zijn de basisschakelingen CML en I^2L aangegeven. De CML schakeling is een soort Schmitt-trigger waarbij de keuze van de logische slag van slechts 0,2 volt garandeert dat de transistoren geen verzadigingsverschijnselen vertonen die de snelheid aan zouden tasten. De CML is daarom snel maar kost vrij veel vermogen en ruimte op het kristal (de injector).

De I^2L is gekarakteriseerd door een diode waar de voedingsstroom doorheen wordt geleid. Deze injector verdeelt de stroom gelijkmatig over alle transistoren die als logische schakelaar worden gebruikt en wel zo dat stroombronnen tussen basis en emitter ontstaan. Om dit te bereiken moeten de transistoren invers worden gebruikt wat weer leidt tot de mogelijkheid om multicollector transistoren toe te passen. Dit heeft tevens als voordeel dat voor de transistoren geen ruimte nodig is om ze electrisch van elkaar te isoleren. De voordelen van I^2L zijn dan ook een zeer goede pakkingsdichtheid en een relatief laag vermogen. Een nadeel van de inverse transistor is echter een lage snelheid. Door de combinatie zijn de voordelen van beide technieken uitgebuit. Enkele technische gegevens van de op deze wijze gerealiseerde $\sqrt[12]{2}$ deler zijn:

Kristaloppervlak	$1{,}5 \times 2\ mm^2$
Elektrisch vermogen	20 mA bij 2 Volt
Max frequentie	ca 12 MHz
Aantal octaafuitgangen	12
Omhulling	Standaard 16 pens plastic DIL

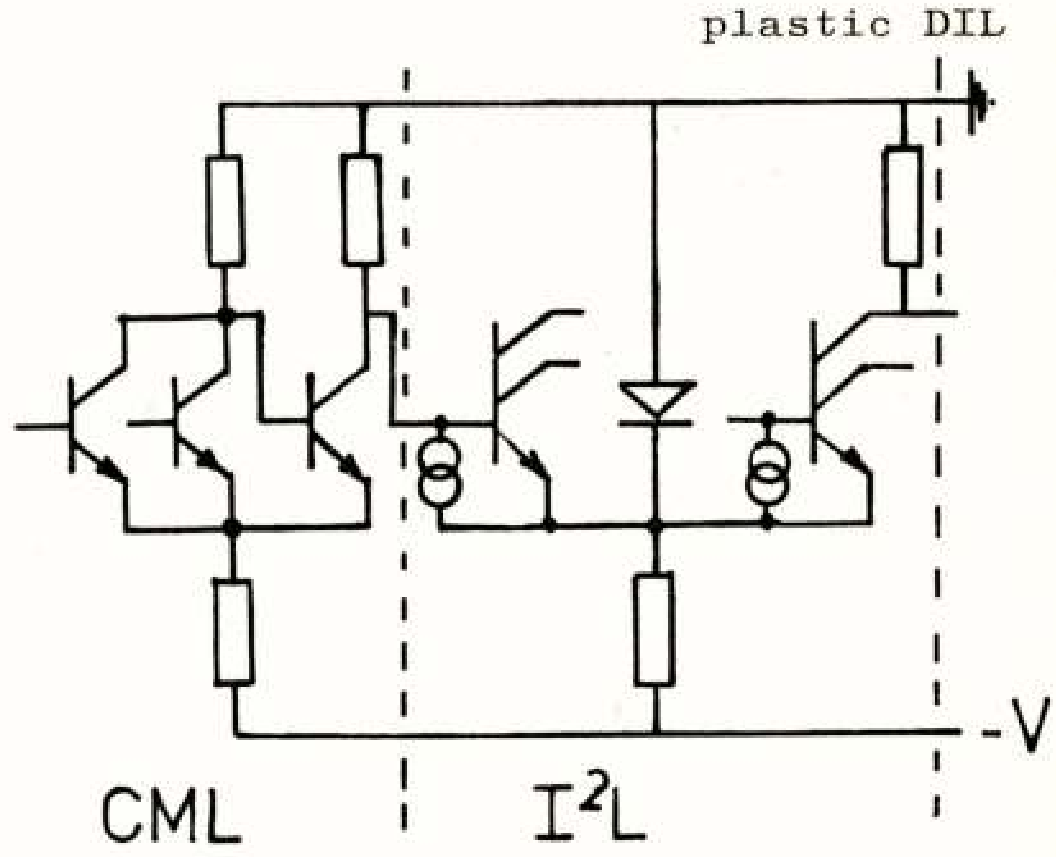


Fig. 11. Basisschakeling van CML en I^2L

Literatuur

1) R.B. Cotton Jr., Journ. AES vol. 20, no. 5 (1972).
2) N.V. Franssen, G12, proc. 4th I.C.A. congress Copenhagen (1962).
3) N.V. Franssen, U.S. patent 3.617.901.
4) N.V. Franssen en C.J. v.d. Peet, Philips Techn. Tijdschrift, vol. 31, nos. 11-12 (1970).
5) C.M. Hart en A. Slob, Philips Techn. Tijdschrift, 33, 3 (1973).
6) G. Klein en J.J. Zaalberg van Zelst, Instrumentele Electronica 37, Philips Techn. Bibl.
7) K.G. Malmfors, U.S. patent 3.520.982.
8) A. Slob, Philips Techn. Tijdschr. 29, 12 (1968).

Voordracht gehouden op 23 maart 1973 in de T.H. Eindhoven. Afdeling der Electrotechniek, tijdens werkvergadering no. 229.

I. ELEKTRONISCH PIANOSTEMMEN;
II. DE SYNTHESE VAN PIANOTONEN.

A.C. van der Woerd,
Technische Hogeschool Delft.

In het eerste gedeelte van dit artikel wordt ingegaan op de problemen, die samenhangen met het stemmen van piano's met behulp van stemapparaten. In verband hiermee worden enkele voor de stemming belangrijke eigenschappen van pianosnaren beschouwd. Tenslotte wordt de realisatie besproken van een elektronisch pianostemapparaat, waarmee betere resultaten bereikt kunnen worden dan met de bestaande stemapparaten. In aansluiting hierop wordt in het tweede gedeelte van dit artikel aandacht besteed aan de eigenschappen van pianotonen, die belangrijk zijn voor hun herkenning, dit laatste om te komen tot de productie van synthetische pianotonen. Het is o.m. gebleken, dat eigenschappen als de inharmoniciteit van de boventonen en het fluctueren van de spectrale frequenties van de toon onmisbaar zijn voor een treffende gelijkenis met natuurlijke tonen. Ook worden enkele experimenten op dit gebied besproken.

I. ELEKTRONISCH PIANOSTEMMEN

I.1. Inleiding

Er is de laatste jaren een groot tekort aan goede pianostemmers ontstaan. Dit heeft tot gevolg gehad, dat het percentage slecht gestemde piano's, dat men alom aantreft, sterk toegenomen is. Omdat een slechte stemming de schoonheid van de door het instrument voortgebrachte muziek aantast, is het gevaar niet denkbeeldig, dat de piano als instrument voor huismuziek hierdoor bij het publiek in diskrediet komt. Er zijn in de loop van de jaren veel stemapparaten ontwikkeld, maar tot dusver heeft dit nauwelijks bijgedragen tot verbetering van deze toestand. We zullen in het volgende trachten enig licht te werpen op de problemen, die samenhangen met het stemmen van piano's m.b.v. stemapparaten.

Bij discussies tussen pianostemmers en elektronici over de problemen rond het stemmen blijkt, dat er nogal wat wederzijds onbegrip bestaat. Vele gerenommeerde pianostemmers zijn van mening, dat het volledig stemmen van een piano met een apparaat onmogelijk is, terwijl elektronici de moeilijkheden rond het probleem veelal te licht opvatten. Door stemmers wordt vaak de bewering geuit, dat elke piano zijn eigen karakter heeft en in verband hiermee een aangepaste stemming verlangt. Technici vinden deze bewering onaanvaardbaar en menen, dat alle piano's één en dezelfde stemming moeten hebben, omdat anders samenspel met andere instrumenten immers onmogelijk zou zijn. Vooruitlopend op het volgende, waarin verschillende onderzoekingen op dit gebied aan de orde komen, kunnen we nu reeds zeggen, dat beide partijen in zeker opzicht gelijk hebben.

I.2. Welke stemming moet worden nagestreefd?

We zullen thans in beschouwing nemen, welke stemming een goede auditieve pianostemmer zal produceren. Allereerst moet worden opgemerkt, dat er verschil bestaat tussen die rij tonen, die door het gehoor subjectief beoordeeld wordt als zijnde een gelijkzwevende toonladder, en de rij tonen, die volgens de definitie uit de fysica een gelijkzwevende toonladder vormt , m.a.w. een rij muziektonen, waarbij de frequenties van twee opeenvolgende oktaaftonen precies een factor 2 is, terwijl de tussengelegen intervallen gelijk zijn, wordt door het gehoor doorgaans niet precies ervaren als een gelijkzwevende toonladder. De eerste metingen aan auditief gestemde piano's werden gedaan door Railsback (1938).

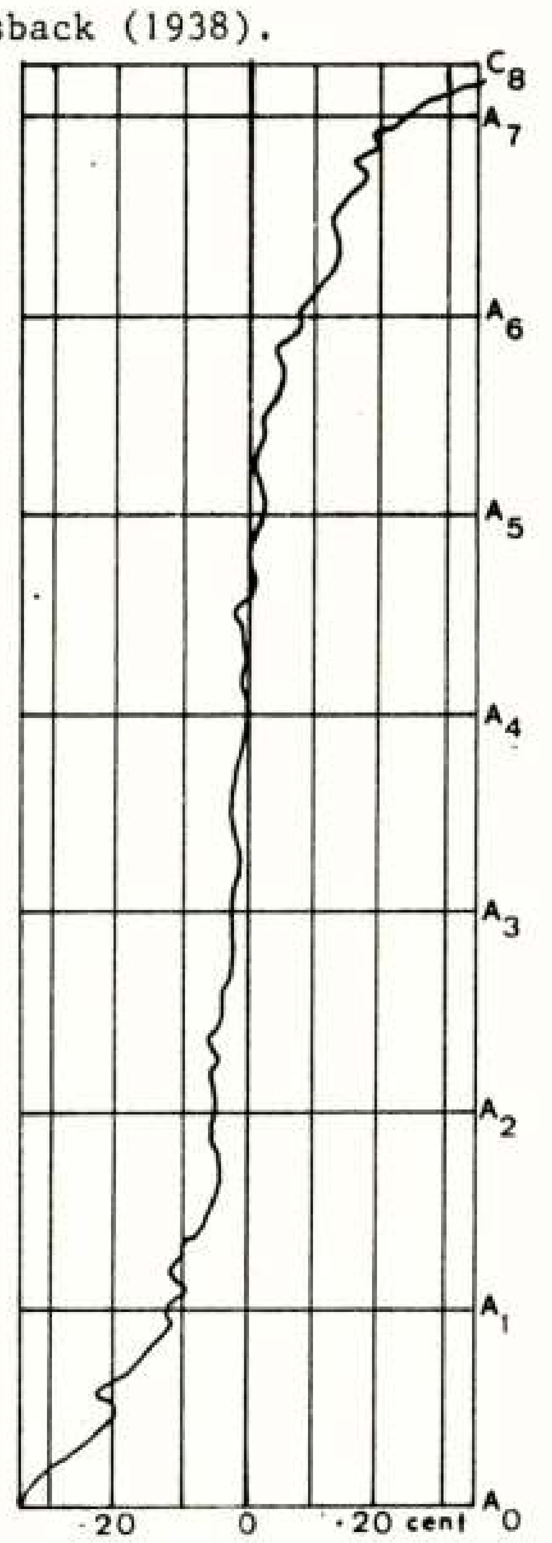


Fig. 1. Gemiddelde stemkromme van 16 piano's.

Fig. 1 geeft de gemiddelde stemkromme van 16 piano's. Hierbij is de stemkromme als volgt gedefinieerd: het is de verzameling punten, die aangeeft welke afwijking de frequenties van de grondtonen hebben t.o.v. het geval, waarbij alle opeenvolgende intervallen een waarde $\sqrt[12]{2}$ zouden hebben. Meer gespecificeerde metingen werden verricht door R.W. Young (1959). (Figuur 2).

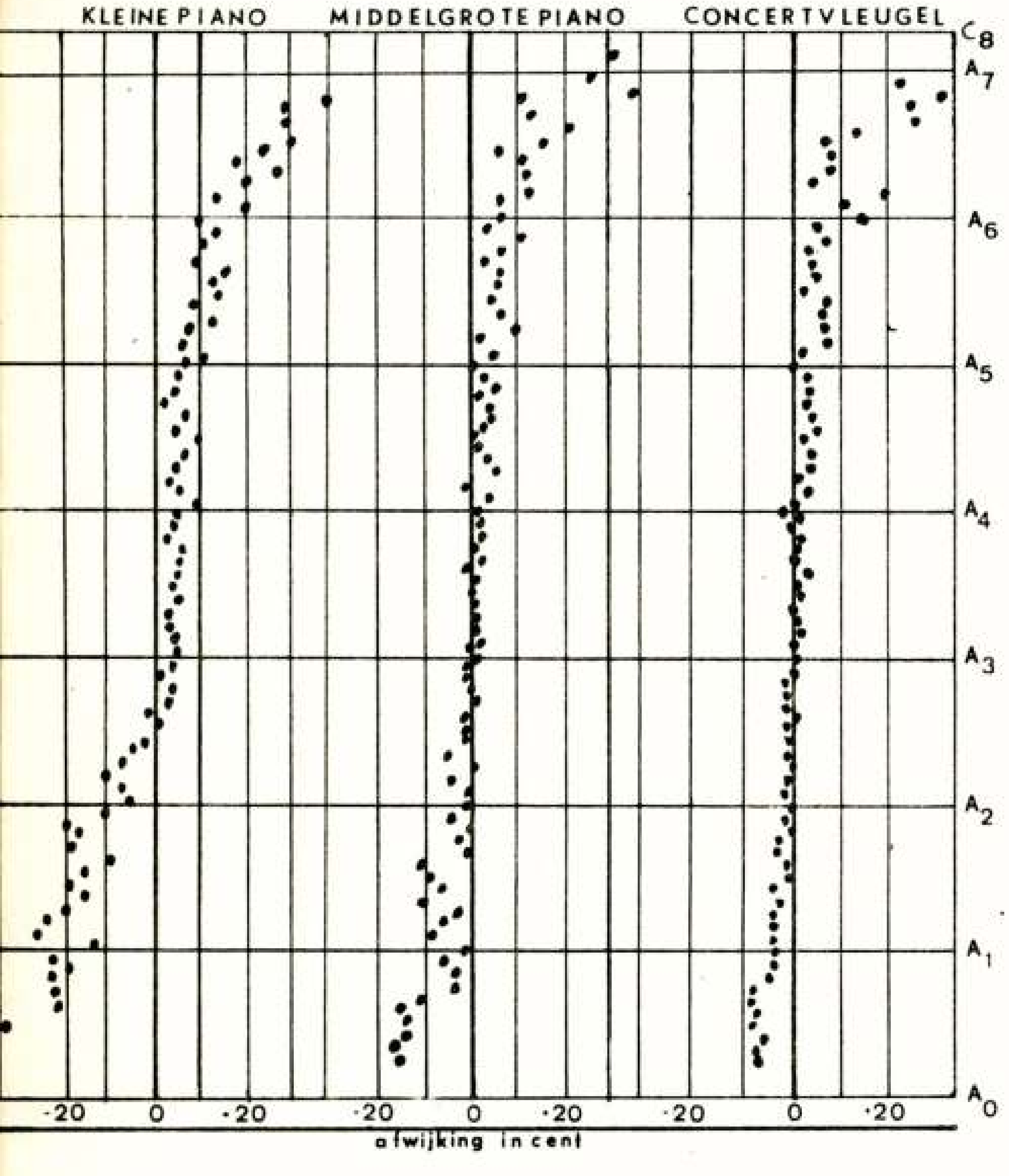


Fig. 2. De stemkrommen van 3 piano's met verschillende afmetingen.

Twee opvallende tendenzen in de krommen zijn:

1) In het gebied van de hoge tonen is er een positieve afwijking en aan de baskant is er een negatieve afwijking.
2) De gemiddelde afwijking aan de hoge kant is bij benadering onafhankelijk van de afmetingen van de piano, terwijl die aan de lage kant beduidend kleiner zijn, naarmate de piano groter is.

Verder lijkt het, alsof er van de veelgeroemde precisie van de auditieve stemmer niet veel terecht gekomen is. Bij de nu volgende bespreking van de theoretische achtergronden van de eigenschappen van de stemkrommen zal echter blijken, dat men zeer voorzichtig moet zijn met de beoordeling hiervan en dat vele incidentele afwijkingen gemotiveerd worden aangebracht. De zojuist genoemde graduele afwijkingen volgen direct uit de oplossing van de d.v. van de trillende buigstijve snaar (Helmholtzverg.:

$$B\frac{\partial^4 v}{\partial x^4} + P\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \omega^2 mv = 0$$

Hierin is: B = buigstijfheid $|Nm^2|$
v = transversale deeltjessnelheid $|m/s|$
p = spankracht $|N|$
ω = cirkelfrequentie $|s^{-1}|$
m = massa per lengte-eenheid $|kg/m|$

Hieruit volgt voor het verband tussen de frequenties van de verschillende trillingsmodi:

$$f_n = nf_1(1 + kn^2)^{\frac{1}{2}} \quad (n \geq 2)$$

De boventonen zijn dus niet harmonisch met de grondtoon. Stemt men nu vanaf het middengebied de oktaven opwaarts en neerwaarts rein, (zoals de auditieve stemmer doet, nadat hij de kwintencirkel doorlopen heeft), dan volgen hieruit bij benadering de genoemde graduele afwijkingen (Schuck, 1943). Immers, het rein stemmen van de oktaven betekent, dat de frequentieverhouding van de grondtonen van 2 oktaaftonen iets groter is dan een factor 2.
De verschillen tussen piano's met verschillende afmetingen worden veroorzaakt, doordat de invloed van buigstijfheid bij langere bassnaren kleiner is dan bij kortere. Men moet zich goed voor ogen houden, dat de bovengenoemde differentiaalvergelijking reeds een sterk vereenvoudigd beeld geeft van de werkelijkheid, immers in werkelijkheid treedt trilling in twee dimensies op, terwijl bovendien zaken als poissoncontractie, rotatietraagheid en afschuiving verwaarloosd zijn. Tevens is de snaar op de plaats van de kam, die snaar en zangbodem verbindt, afgesloten met een impedantie, die zelf een zeer gecompliceerd gedistribueerd systeem bevat. Dit laatste klinkt misschien wat perfectionistisch, maar er bestaan gegronde vermoedens dat juist in die kleine afwijkingen t.o.v. het wiskundig ideale geval veel van de muzikale waarde van het geluid zetelt.

Er rest thans nog de "onregelmatigheid" in de stemkrommen te verklaren. Ten dele is dit verschijnsel natuurlijk een gevolg van bepaalde onnauwkeurigheden van de stemmer, waarbij opgemerkt moet worden, dat bij een auditieve stemming een cumulatieve fout optreedt, omdat de stemmer steeds andere (reeds gestemde) snaren als referentiesignaalbron gebruikt. Toch is gebleken dat veel van deze individuele verschillen gemotiveerd worden aangebracht. Dit laatste hebben we geconcludeerd uit experimenten van Martin(1961) en onszelf. Deze onregelmatigheden worden hoofdzakelijk veroorzaakt door individuele verschillen in de inharmoniciteit van opeenvolgende snaren. Ook binnen het koor kunnen zulke verschillen een rol spelen. Omdat de auditieve stemmer (zeer globaal gesproken) slechts luistert naar zwevingen in de kwinten en in de oktaven komt de beste stemming i.h.a. niet overeen met een regelmatig verlopende stemkromme. Het zojuist besprokene is wellicht één van de oorzaken van de eerder aangevoerde individualiteit van elk instrument.

I.3. Een ontwerp voor een nieuw stemapparaat

Het zal duidelijk zijn dat, wanneer we, rekening houdend met de voorgaande gegevens, een stemapparaat willen bouwen dat de kwaliteit van een zeer goede stemmer moet evenaren, de moeilijkheden niet te overzien zijn. We zouden dan voor elk instrument een aparte stemkromme in het apparaat moeten programmeren. Tot op heden werden, (op enkele min of meer mislukte uitzonderingen na) slechts stemapparaten gebouwd, waarvan de stemkromme een rechte lijn is (dus: verhoudingen oktaaftonen 1 : 2 en verhoudingen opeenvolgende halve tonen $\sqrt[12]{2}$).

Volledigheidshalve moet nog worden vermeld, dat Bedford (1972) een apparaat heeft ontworpen, waarmee de auditieve stemming min of meer nagebootst kan worden. Omdat de stemprocedure hiermee zeer tijdrovend is, zullen we niet bij dit ontwerp stilstaan.

We kunnen dus enerzijds concluderen, dat een goede auditieve stemmer de allerbeste resultaten kan bereiken, terwijl met de thans beschikbare stemapparaten (waarbij een vlakke stemkromme wordt gebruikt) nog niet aan de minst strenge eisen kan worden voldaan. (Dit laatste werd aangetoond door Martin (1961), waarbij het oordeel van een aantal deskundige luisteraars als norm werd gehanteerd). We hebben echter toch de vermetelheid gehad een poging te wagen om een tussenoplossing te vinden.

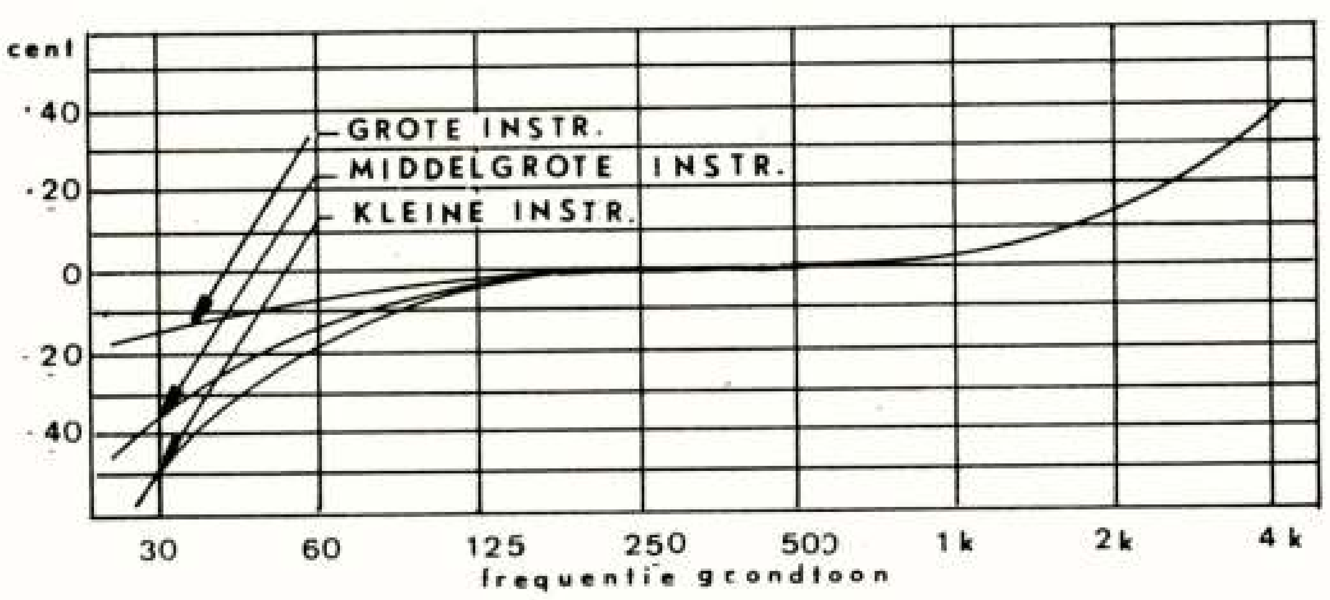


Fig.3.

Dit heeft geleid tot de ontwikkeling van een stemapparaat met drie selecteerbare stemkrommen; één voor grote vleugels, één voor middelgrote piano's en één voor z.g. "baby-piano's". De drie krommen zijn gegeven in fig. 3.

Teneinde de bassnaren op de grondtoon te kunnen stemmen is de methode van opname van het toonsignaal via een microfoon onbruikbaar. Immers de grondtoon is in de laagst gestemde oktaven slechts zeer bescheiden vertegenwoordigd. Daarom werd i.p.v. een microfoon een elektromagnetische transducer gebruikt. Voor een gedetailleerde beschrijving van het apparaat verwijs ik naar mijn artikel in J.A.S.A. over dit onderwerp (v.d. Woerd, 1972). Hier zullen slechts de globale werking en de bereikte resultaten besproken worden. Het algemene blokschema van het apparaat is gegegeven in fig. 4.

De referentie-oscillator kan naar keuze één van de referentiefrequenties leveren van de gekozen stemkromme en bestaat uit een programmeerbare omschakelbare regeneratieve deelschakeling. De programmering van de 3 stemkrommen geschiedt door 3 Read Only Memories. Alle frequenties kunnen $\pm \frac{1}{2}$ toon worden verstemd door de clock-frequentie te variëren. Er is een bandfilter aanwezig dat slechts de grondtoon van het toonsignaal doorlaat. Een bijzonderheid van het filter is, dat het automatisch meegeschakeld wordt met de referentiefrequentie. Het is gebleken dat (in verband met de fluctuaties in de frequentie van de grondtoon) de bereikbare stemnauwkeurigheid des te groter is, naarmate de bandbreedte kleiner wordt genomen. Deze bandbreedte werd in verband hiermee gekozen op 0,1 oktaaf zodat de mogelijke frequentievariaties van de referentie-oscillator plus een aanzienlijke stemfout steeds binnen het doorlaatgebied van het filter zullen blijven.

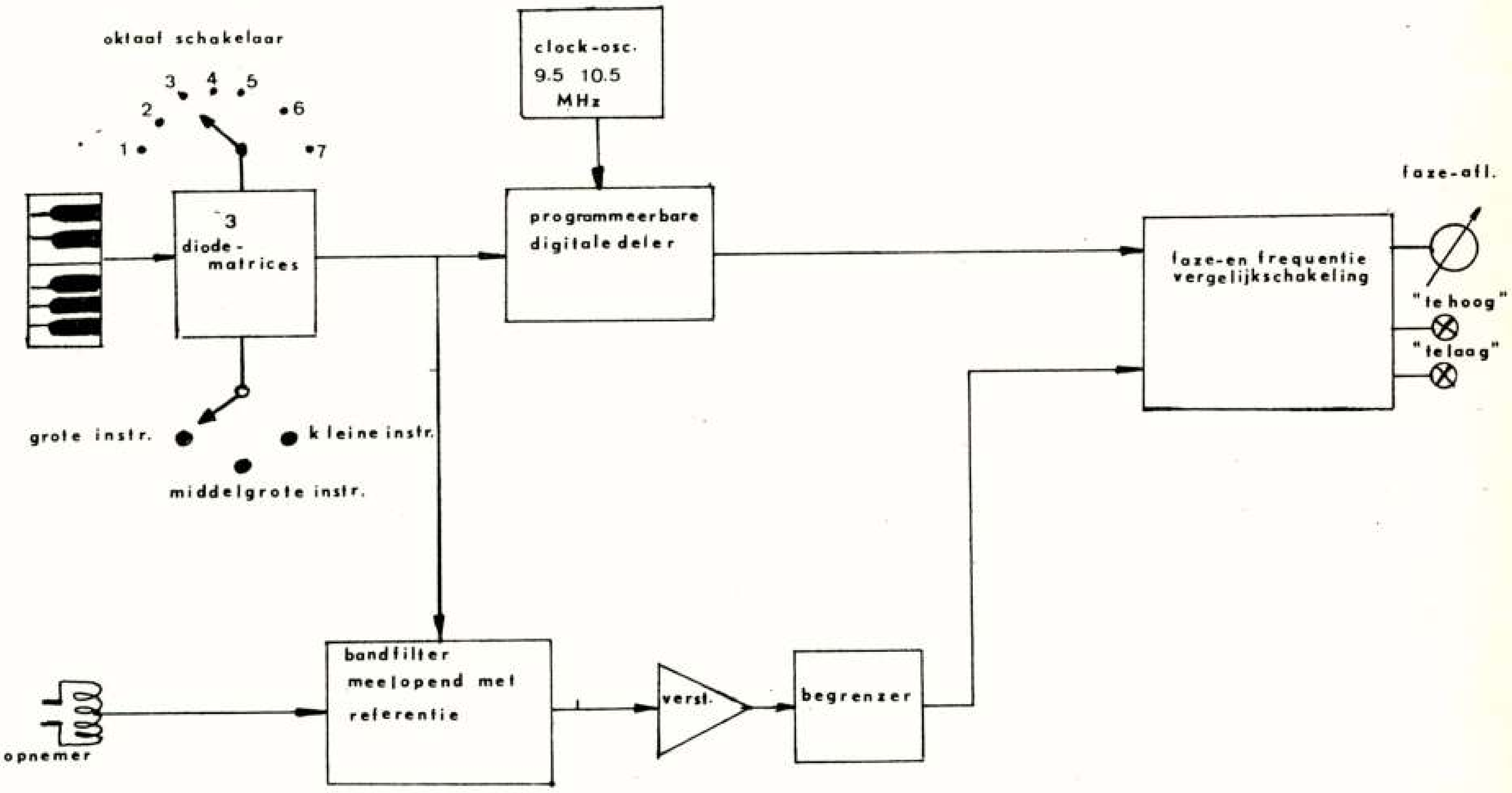


Fig. 4. Blokschema van het stemapparaat.

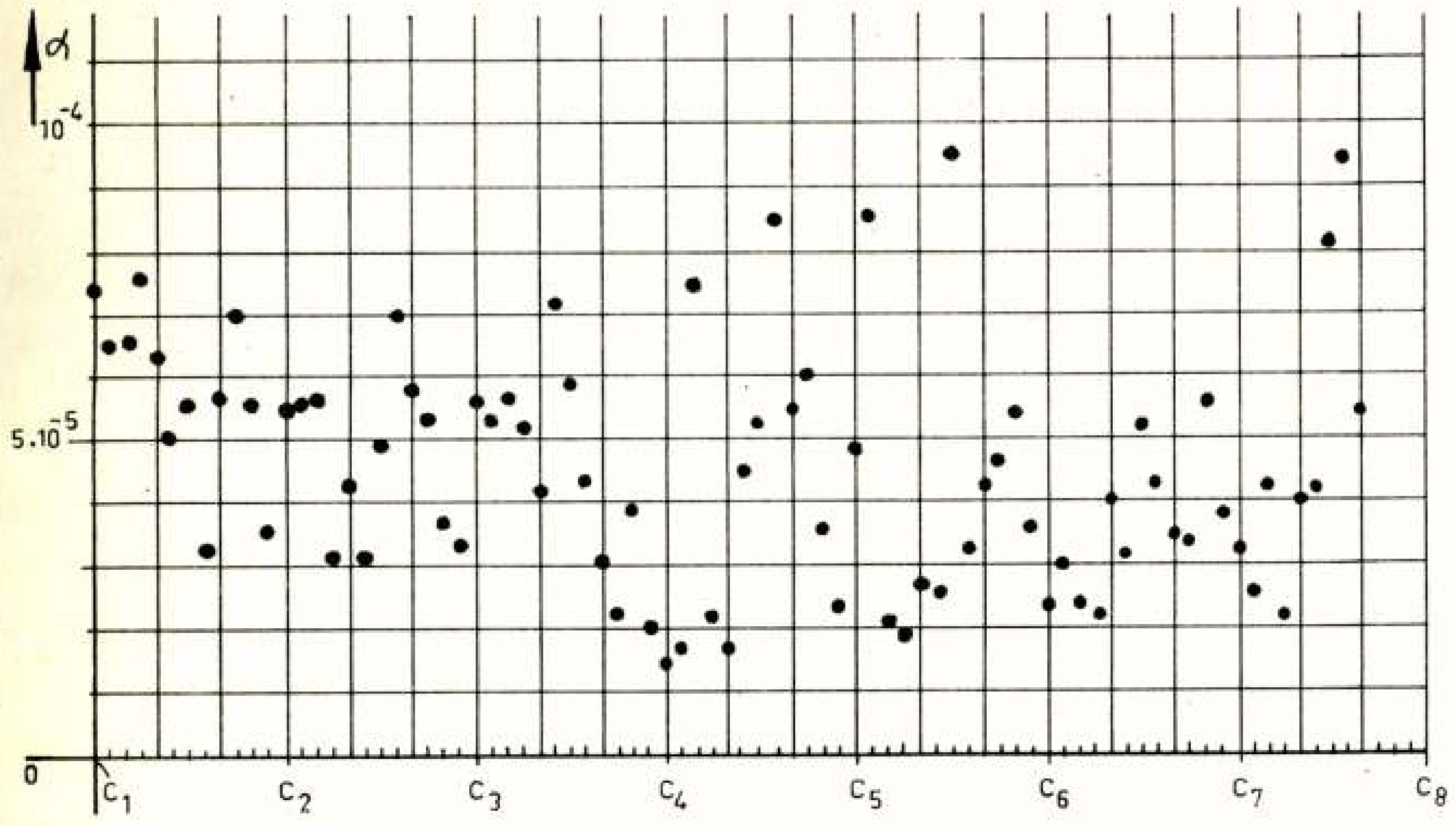


Fig. 5. Rest-onnauwkeurigheid na een optimale stemming.

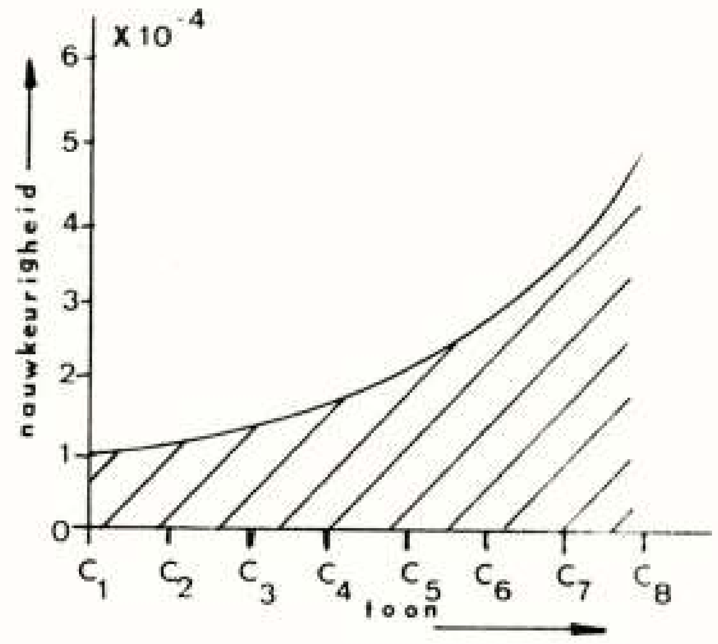
Het versterkte, gefilterde en begrensde pianosignaal wordt in een faze- en frequentievergelijkschakeling vergeleken met de referentiefrequentie. De fase-aflezing gebeurt analoog, de frequentie-aflezing digitaal ("te hoog" of "te laag"). Een analoge faze-aflezing is zeer geschikt door zijn grote gevoeligheid, terwijl tevens z.g. "zelfzwevende snaren" gemakkelijk herkend worden. We zullen nu wat uitvoeriger ingaan op de praktische resultaten. Bij één middelgrote piano, die op het laboratorium aanwezig is, werd de maximaal bereikbare stemnauwkeurigheid t.o.v. de geprogrammeerde stemkromme gemeten. Hierbij moet uitdrukkelijk vermeld worden, dat naar de subjectieve evaluatie van het resultaat geen onderzoek werd gedaan. We definiëren de resterende stem-onnauwkeurigheid na het zo goed mogelijk stemmen van een snaar:

$$\alpha = \frac{|\phi_m|}{2\pi\ f_r \cdot \tau_m} .$$

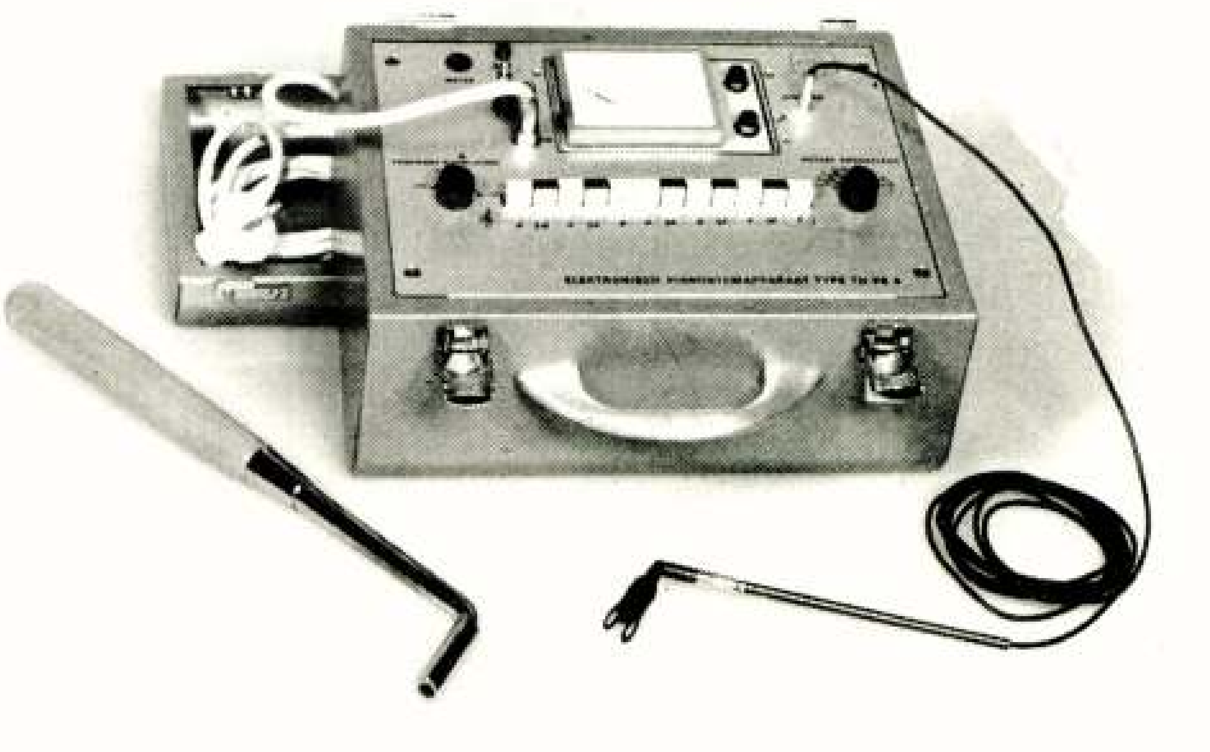
Hierin is ϕ_m de top-top waarde van de gemeten fazeverandering van het toonsignaal t.o.v. het referentiesignaal; f_r is de referentiefrequentie en τ_m is de beschikbare meettijd na één aanslag.

In fig. 5 werd α uitgezet als functie van de betreffende snaar. We zien dat α in alle gevallen binnen 10^{-4} blijft. Om de totale onnauwkeurigheid van het stemsysteem te vinden moet hierbij de onnauwkeurigheid van de referentiefrequentie opgeteld worden. Doen we dit dan volgt de max. stemfout uit fig. 6.

Tot dusver werden enkele tientallen verschillende piano's met dit apparaat gestemd. De eigenaars van de instrumenten waren i.h.a. zeer tevreden over het resultaat. Zoals echter te verwachten was treden i.v.m. individuele verschillen in inharmoniciteit, vooral binnen het koor, in enkele gevallen fouten op, die zich presenteren als aperte "missers" in de stemming. Correctie op het gehoor is dan noodzakelijk. Tenslotte geeft fig. 7 een foto van een prototype van het apparaat.



Figuur 6. Totale onnauwkeurigheid van het stemsysteem.



Figuur 7. Foto van een prototype van het stemapparaat.

II. DE SYNTHESE VAN PIANOTONEN

II.1. Inleiding

In het volgende worden enkele zaken besproken, die betrekking hebben op de opwekking van synthetische pianotonen. Ook werden enkele experimenten uitgevoerd. De uitkomsten hiervan zijn echter nog onvolledig, omdat het onderzoek pas in een beginnend stadium verkeert.

II.2. De eigenschappen van pianotonen

Uit nauwkeurige metingen aan natuurlijke pianotonen is gebleken, dat deze voor de herkenning zeer specifieke eigenschappen hebben en dat we deze eigenschappen kunnen rangschikken in de volgorde, waarin ze voor die herkenning belangrijk zijn. In fig. 8 hebben we deze rangschikking uitgevoerd. Hierbij hebben we de eigenschappen gesplitst in de klassen I t/m V. Een toenemend rangnummer duidt aan, dat de eigenschappen in de betreffende klasse een grotere verfijning betekenen en dat ze voor de directe herkenning minder belangrijk zijn.

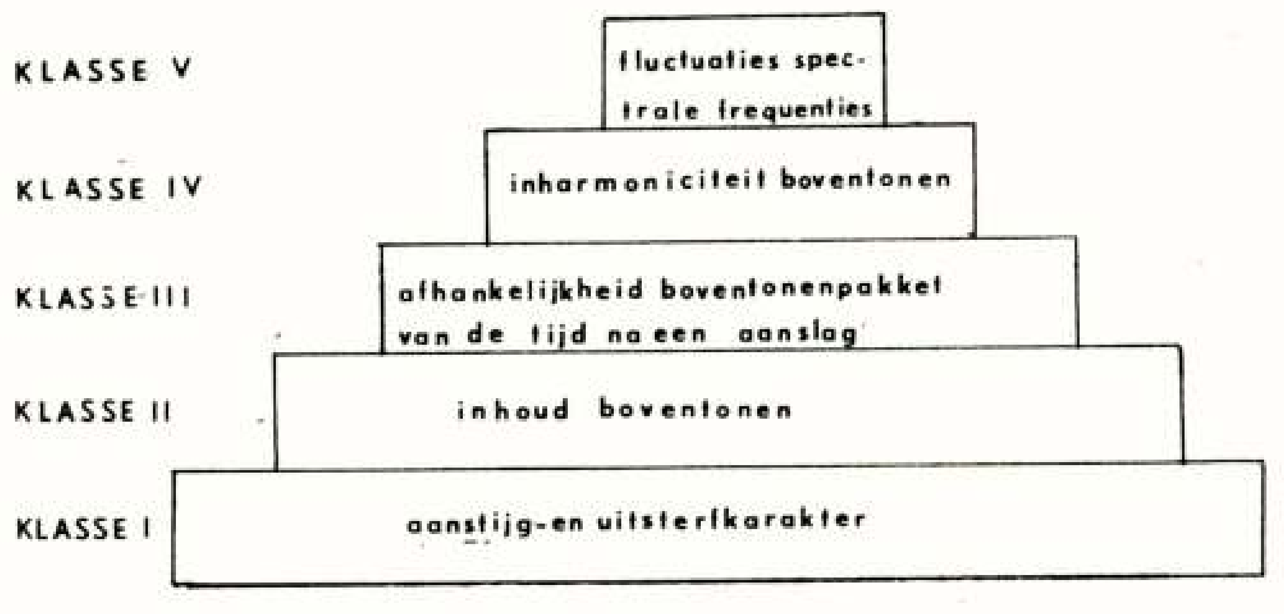


Fig. 8. Indeling in klassen van de voor de herkenning belangrijke eigenschappen van een pianotoon.

Uit luisterproeven door Fletcher (1962) en onszelf is het volgende gebleken:

a) Een synthetische toon, waarbij alleen aan de klassen I, II en III wordt voldaan en die zich in het middengebied van de piano bevindt, lijkt in de eerste instantie "verrassend veel" op een pianotoon, maar gaat sneller vervelen.
b) In het gebied van de hoge en de lage tonen zijn de eigenschappen in de klassen IV en V onmisbaar om een treffende gelijkenis met de natuurlijke toon te krijgen; voor de baskant is de inharmoniciteit het belangrijkste (kl. IV) en voor de hoge tonen de fluctuaties (kl. V).
c) De extra informatie, die het oor aangeboden krijgt, door de eigenschappen in de klassen IV en V toe te voegen, wordt subjectief ervaren als een "verrijking" van de klank en hangt samen met eigenschappen als "warmte" en "levendigheid", m.a.w. met aspecten, die grote invloed hebben op de muzikale waarde van het geluid.

In verband hiermee moet worden opgemerkt dat de bekende uitspraak van Helmholtz, waarin hij slechts harmonische tonen muzikaal zou willen noemen, zeer aanvechtbaar lijkt.

Men kan zich afvragen, waarom deze (zeer kleine) afwijkingen van het harmonische gedrag zo belangrijk zijn. Een afdoend antwoord is in dit stadium onmogelijk, omdat men van het bewustwordingsproces in het auditieve systeem vrijwel niets afweet. Wellicht kan de psychologie enig licht op deze zaak werpen. Met name kan hierbij gedacht worden aan de uitkomsten van de multi-motivatietheorie van de psycholoog Maslow (1971). Verder kan op grond van informatietheoretische overwegingen worden gezegd, dat de informatie-inhoud van de natuurlijke toon zeer veel groter is dan die van een synthetische toon, waarbij de inharmoniciteit en de fluctuaties ontbreken.

II.3. De oorzaak van de eigenschappen van pianotonen

We kunnen de oorzaken van de gerangschikte eigenschappen globaal aangeven. Hiertoe moeten we het gehele trillende systeem beschouwen, dat bij de snaar behoort (zie fig. 9.)

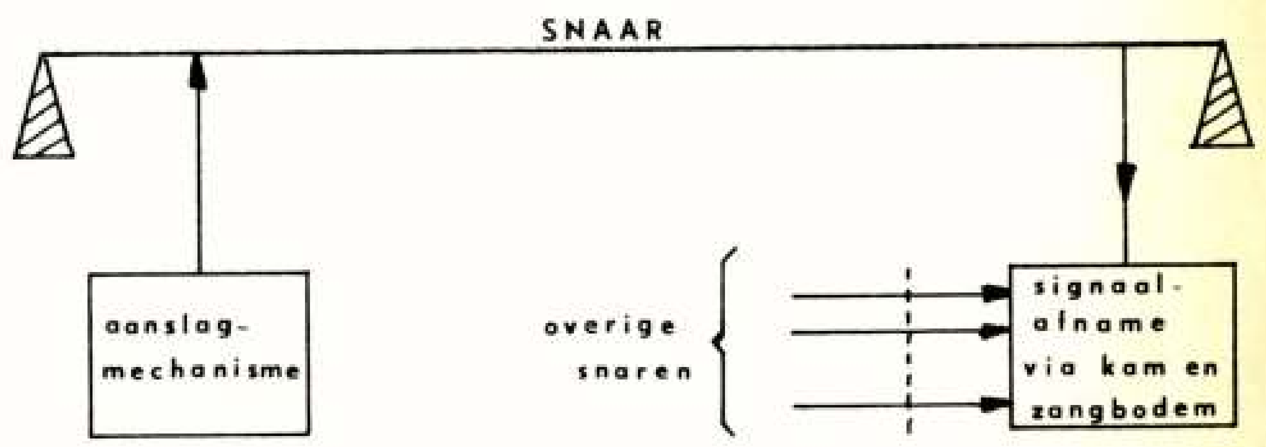


Fig. 9. Het bij een snaar behorende trillende systeem.

Het aanstijg- en uitsterfkarakter wordt bepaald door resp. het aanslagmechanisme en de verliezen in het systeem (inclusief de geluids -output). De onderlinge verschillen in amplitude en faze van de boventonen worden in hoge mate bepaald door de positie van het punt van aanslag en door de filterwerking van de zangbodem. De tijdsafhankelijkheid van de onderlinge verhoudingen van de boventoon wordt veroorzaakt door de frequentie-afhankelijkheid van de verliezen in het systeem. De inharmoniciteit van de boventonen wordt veroorzaakt door de buigstijfheid van de snaar en tenslotte de fluctuaties in de spectrale frequentie door interactie tussen de snaar en het belastende systeem (zangbodem + andere snaren). We moeten ons wel realiseren, dat de aanwezigheid van fluctuaties er niet op duidt, dat de snaar een stochastische tijdsfunctie zou produceren. Hoewel de fluctuaties bij één aanslag het karakter hebben van ruis, is de tijdsfunctie bij vele (even sterke) aanslagen van de snaar volkomen reproduceerbaar, m.a.w. de fluctuaties hebben geen toevalskarakter, maar zij zijn geheel bepaald door het (zeer gecompliceerde) systeem.

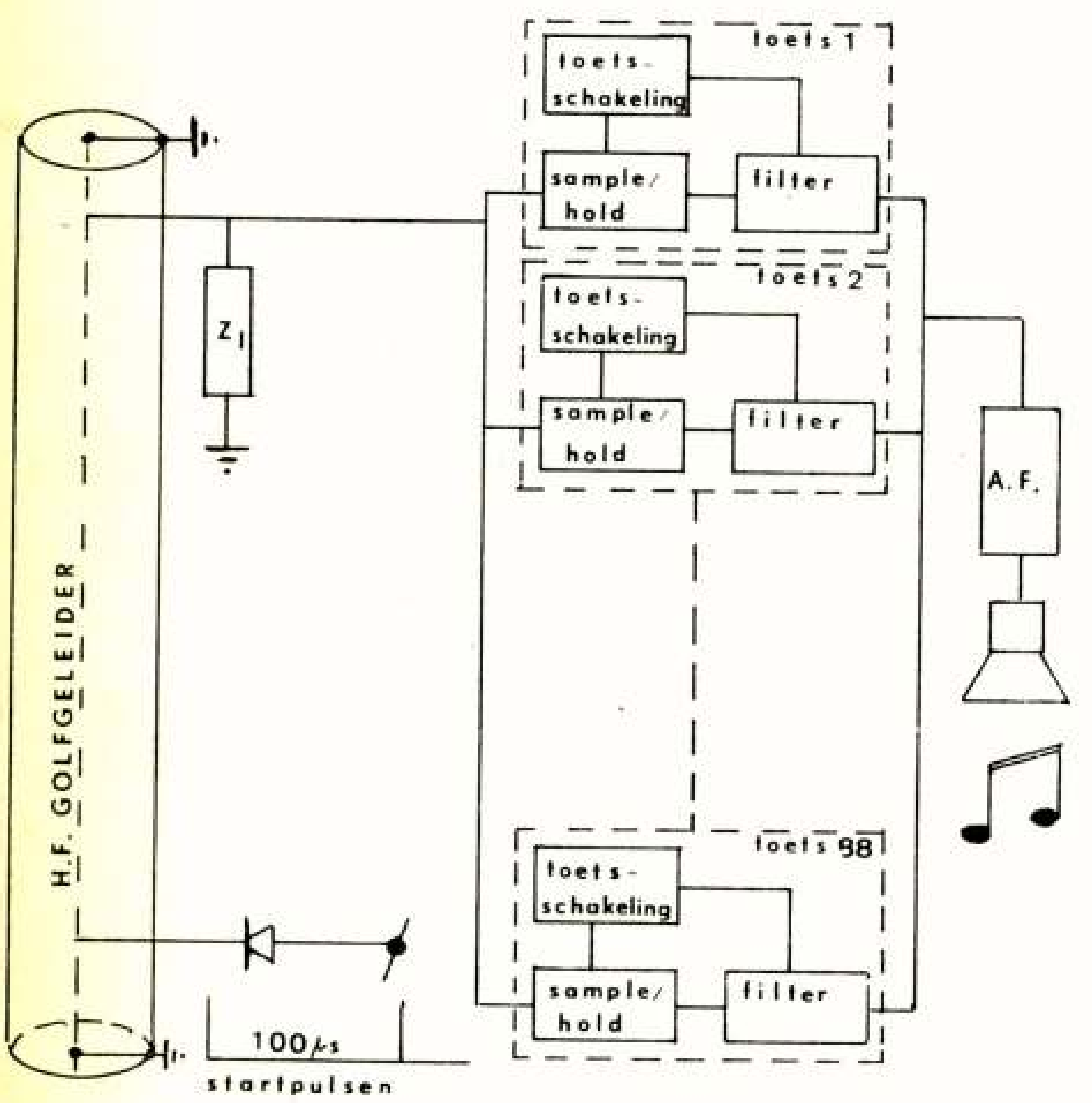
II.4. Technische realisatie van synthetische pianotonen

Tot op heden heeft men synthetische pianotonen kunnen realiseren, die de eigenschappen van de klassen I, II en III goed nabootsen (Dijksterhuis, 1968). Het is niet geheel duidelijk of het zinvol is te streven naar een verdere vervolmaking van deze tonen, teneinde te komen tot een (betere) elektronische piano. Wel is het uit wetenschappelijk oogpunt interessant te weten of met de bovenstaande zaken alle "geheimen" van de pianotoon verklaard kunnen worden. Bovendien kunnen dergelijke tonen wellicht ingepast worden in "music synthesisers".

Op ons laboratorium worden thans enkele experimenten gedaan om te komen tot de elektronische synthese van pianotonen, waarbij de inharmoniciteit van de boventonen gerealiseerd is. De bedoeling is dus, dat de frequenties van de boventonen t.o.v. de grondtoon gegeven zijn volgens $f_{(n)} = n f_{(1)}(1 + kn^2)^{\frac{1}{2}}$ $(n \geq 2)$.

Als we hiermee een volledig pianoklavier willen maken, dan impliceert dit tevens dat de grondtonen volgens een "Railsback"-kromme moeten lopen.
Een voor de hand liggende methode is uiteraard die, waarbij alle spectrale frequenties afzonderlijk via digitale deelschakelingen uit één hoogfrequent signaal worden afgeleid. Een grove berekening leert echter, dat we dan voor het gehele toonbereik minstens 10^4 tweedelers nodig hebben. Dit is vooralsnog een onbetaalbare zaak.

Een andere methode, waarmee thans geëxperimenteerd wordt, berust op de analogie tussen een h.f. transmissielijn en een snaar. Het principe is gegeven in fig. 10.



Figuur 10. H.F. transmissielijn als pianosnaar.

Zeer in het kort is de werking als volgt:
De coaxiale golfgeleider vormt een h.f. "kunstsnaar". Door de dispersie in het golfmedium ($\varepsilon = f(\omega)$) een bepaald verloop te geven, kan men trillingsvoorwaarden krijgen, die overeenkomen met die van een pianosnaar, maar dan op een veel kortere tijdsschaal. Door de lijn periodiek aan te stoten met een pulsreeks, zorgen we dat de gehele uitslingerings-tijdfunctie periodiek wordt. Door dit signaal met een vertraagde pulsreeks te bemonsteren, kan men de tijdas met een bepaald getal vermenigvuldigen, zodat het trillingsbeeld naar het l.f. gebied wordt getransformeerd. Dit gebeurt analoog aan het proces bij sample-oscilloscopes. De vertraging van de sample-puls bepaalt de toonhoogte. Omdat de bandbreedte van alle pianotonen ongeveer 4 kHz bedraagt, kunnen we als startpuls frequentie minimaal 2 x 4 = 8 kHz kiezen. We hebben 10 kHz gekozen. Bovendien weten we, dat tussen twee startpulsen, (dus binnen 100 µs) het gehele trillingsbeeld van de snaar moet "passen" d.w.z. ≈ 5000 perioden van de grondgolf.
Hieruit volgt voor de minimaal toepasbare grondfrequentie van de transmissielijn een waarde van 50 MHz. I.v.m. de boventoneninhoud moet de bandbreedte van het h.f. signaal ≈ 1,5 GHz zijn. De bemonstering hiervan is met moderne sample-dioden geen probleem. Wèl een probleem is het feit, dat dit h.f. signaal verdeeld moet worden over de 88 sample-schakelingen. Andere optredende problemen zijn:

a) ruis door onzekerheid in het sample-moment.
b) toonhoogte variatie door niet-lineariteiten van de zaagtand spanningen, die dienen voor de vertraging van de sample-impulsen.

Toch is gebleken, dat deze problemen redelijk oplosbaar zijn. De grootste moeilijkheid blijkt thans te liggen in de realisatie van de h.f. golfgeleider. De experimenten hiermee zijn echter nog niet geëindigd, zodat eventuele conclusies speculatief zouden zijn.

Literatuur:

Bedford, L.H., Suppl. to the Radio and El. Engineer, sept. 1972, p. 131-135.

Dijksterhuis, P.R., Verheij, T., Nat. Lab. Report nr. 4277.

Fletcher, H., Blackham, E.D. and Stratton, R., J. Acoust. Soc. Am. 34, 749-761.

Martin, D.W. and Ward, W.D., J. Acoust. Soc. Am. 33, 582-585.

Maslow, A.H., Motivatie en persoonlijkheid, Lemniscaat, Rotterdam, 1971.

Railsback, O.L., J. Acoust. Soc. Am. 9, 274; 10, 86.

Schuck, O.H. and Young, R.W., J. Acoust. Soc. Am. 15, 1-11.

Woerd, A.C. van der, J. Acoust. Soc. Am. 51, 2010-2017.

Young, R.W., Acoustique Musicale; Éditions du Centre National de la Recherche Scientifique, 84, 10-12.

Voordracht gehouden op 23 maart 1973 in het gebouw van de Afdeling der Electrotechniek, Technische Hogeschool Eindhoven, tijdens werkvergadering nº 229.

UIT HET NERG

OVEREENKOMST DER NATIONALE VERENIGINGEN VAN ELECTROTECHNICI VAN WEST-EUROPA*

Op 3 december 1971 hebben de vertegenwoordigers der verenigingen van electrotechnici vergaderd te Lausanne (Zwitserland), onder voorzitterschap van de Heer R.RICHARD, voorzitter van de "Association Suisse des Electriciens", om de huidige toestand van deze verenigingen op punt te stellen en de mogelijkheden tot samenwerking te onderzoeken. De afgevaardigden van volgende landen hebben aan deze vergadering deelgenomen:

- België, Duitsland, Frankrijk, Groot-Brittannië, Italië, Nederland, Noorwegen, Zweden en Zwitserland.

De verenigingen der volgende landen zijn eveneens geïnteresseerd zonder evenwel te hebben kunnen deelnemen aan de vergadering:

- Denemarken, Finland, Griekenland, Oostenrijk, Spanje.

Er werd vastgesteld dat de voornaamste bestaansreden van alle tegenwoordige verenigingen bestaat uit het bevorderen der wetenschappen en de technieken der elektriciteit om aan hun leden toe te laten hun kennis te vervolmaken en hun ondervindingen uit te wisselen.

Hieruit hebben de afgevaardigden bijgevolg afgeleid dat een internationale samenwerking tussen de verschillende verenigingen enkel gunstig kan zijn.

Deze samenwerking zou zich vooral over volgende domeinen kunnen uitspreiden:

- Deelname der leden van deze verenigingen aan de congressen en manifestaties georganiseerd door één onder hen.
- Mogelijkheid voor de leden dezer verenigingen die tijdelijk in het buitenland verblijven, om zekere voordelen te bekomen, voorbehouden aan de leden der verenigingen van het land waarin ze verblijven.
- Organisatie van onderlinge vergaderingen.
- Harmonisatie der projekten voor congressen of colloquia.
- Wederzijdse informatie en vastleggen van een kalender der manifestaties.
- Oprichting van informatierubrieken, die open staan voor de verschillende verenigingen, in de respectievelijke tijdschriften.
- Uitwisseling en vertaling van rapporten, studies, enz. en mogelijkheid tot publicatie in de verschillende tijdschriften der verenigingen.
- Uitwisseling van stages voor studenten.

De vertegenwoordigers der verenigingen hebben dus beslist een "Overeenkomst der nationale verenigingen van electrotechnici van West-Europa" af te sluiten, openstaande voor elke nationale vereniging van West-Europa, die wenst samen te werken met zijn deelnemende leden, om de kontakten en de uitwisseling der gedachten tussen hun leden te vergemakkelijken en aldus een ruimere verspreiding toe te laten der technische kennis in hun disciplines.

Het eerste artikel van deze overeenkomst, handelend over zijn activiteitsdomein, zou als volgt opgesteld worden:

"Het activiteitsdomein der overeenkomst heeft voornamelijk het verbeteren der informatie op het oog om aldus een multilaterale samenwerking tussen zijn deelnemers toe te laten, met dien verstande dat elke vereniging haar onafhankelijkheid bewaart. Deze activiteit zal zich vooral ontplooien door verbintenis met de organisaties die gelijkaardige doeleinden nastreven."

Een verbindingscomiteit, dat volgende personen omvat, werd aangeduid:

Mr V.	BERTRAND	(Frankrijk)
Mr F.	BIANCHI	(Italië)
Mr J.F.	COALES	(Groot-Brittannië)
Mr H.	FLEISCHER	(Duitsland)
Mr R.	RICHARD	(Zwitserland)
Mr G.	DUFOUR	(Benelux)
Mr C.	HAGSON	(Zweden)

Dit comiteit heeft als eerste taken:

- Op punt stellen van een tekst der overeenkomst.
- Oprichting van een kalender der manifestaties.
- Organisatie van een gemeenschappelijke vergadering te GENEVE begin 1973, waarop alle leden der verenigingen zullen uitgenodigd worden.
- Studie van het probleem der stages voor studenten.
- Onderzoek der mogelijkheden tot samenwerking aan toekomstige congressen.
- Aanleg van een takenlijst met aanduiding der voorrangsorde.

Dit comiteit heeft werkvergaderingen gehouden op 21 januari 1972, op 5 juni 1972 en op 18 september 1972. Het heeft de problemen nagezien die het toevertrouwd kreeg en heeft namelijk de tekst van een overeenkomst voorbereid, die voor het ogenblik aan de geïnteresseerde verenigingen ter goedkeuring werd voorgelegd.

De ceremonie der ondertekening van deze overeenkomst door de verschillende nationale verenigingen van West-Europa zal plaats grijpen op 24 November 1972 te ZURICH.

---

* Electrotechnici is genomen in de ruimste zin van het woord en omvat alle activiteiten met betrekking tot de electriciteit, namelijk de electronica ingegrepen en de aanverwante takken.

LEDENMUTATIES

nieuwe leden:

J. Addink, Twelloseweg 17 A, Deventer.

Ir. R.J.M. van Eyndhoven, De Vallestad 60, Nuenen.

Ir. D. Glas, Hasselaarstraat 11, Eindhoven.

Ir. G.C. Groenendaal, Willem Alexanderstraat 9, Veldhoven.

Ir. J.H. Huijsing, I.B. Bakkerstraat 15, Delft.

Ir. J.M. Koopmans, Gruttostraat 55, Bleiswijk.

Prof.dr.ir. S. Middelhoek, John F. Kennedylaan 233, Rijswijk Z.H.

M.C.J. van Pernis, Vivaldihof 12, Alphen a/d Rhijn.

Ir. J.F.J. Spee, Savelsbos 40, Zoetermeer.

Ir. E.J. Tercic, Hertogenlaan 24, Geldrop.

Ir. J.W.J. Baron van Till, Singelstraat 47, Delft.

Ir. L.F. Willems, Lenningenhof 47, Eindhoven.

nieuwe adressen van leden:

Prof.ir. J.W. Alexander, Livingstonelaan 600, Utrecht.

Ir. H. Breimer, Vossenberg 2, Teteringen.

Prof.dr. H.Bremmer, Seringenlaan 21, 3581 Achel, België.

Ir. T.W. Brink, Nijenrode 16, Leiderdorp.

Ir. M. van Deelen, Soderblomplaats 282, Rotterdam.

Ir. C.H. ter Hark, Treverilaan 42, Apeldoorn.

Dr.ir. J. Kaashoek , Thorbeckelaan 22, Eindhoven.

Ir. J.C. Kok, Blauwe Vogelweg 10, Leiden.

Ir. C. Kraaij, Hazenlaan 7, 1980 Tervuren, België.

Ir. H. Kraaijenbrink, Aart van der Leeuwlaan 1054, Delft.

Ir. J.G. de Lint, Paulus Buyslaan 20, Heemstede.

Drs. B.L. Loopstra, Philips-Electrologica B.V., Postbus 1374, Den Haag.

Ir. F. Maarleveld, Sweelinckstraat 14, Berkel en Rodenrijs.

Ir. J.C. van Marle, 56 Burmhamthorpe Road, Islington, Ontario, Canada.

Prof.ir. C.A. Muller, Odinksveld 8, Delden.

Ir. E.E.P. Poelman, Pres. Kennedylaan 258, Oestgeest.

Ir. M.A. Reinders, Westergo 51, Zoetermeer.

Prof.ir. C. Rodenburg, Reviusstraat 56, Hengelo (O).

Dr.ir. T.J. Schep, Lokhorstlaan 21, Bunnik.

Ir. J.S. van Sinttruyen, Westergo 53, Zoetermeer.

Prof. H. Sørbye, Dalen Hageby 19, N-7000, Trondheim, Noorwegen.

Prof.dr.ir. W.J.D. Steenaart, 17 Burnbank Avenue, Ottawa K2GOH2, Ontario,Canada.

Ir. J. Stolk, Amerikalaan 63, Son N.B.

Ir. J.J.P. Valeton, Bloemendaal 3, Oirschot.

Ir. H.J. Verbiest, Herdersweg 4, Huizen.

M. Verduin, Bolognalaan 8, Eindhoven.

Ir. W. Visscher, Buizerdstraat 20, Bleiswijk.

Ir. D. van Willigen, Nieuwenbroeksedijk 6, Reeuwijk.

INHOUD

Tijdschrift van het NERG Deel 38 - NR.1 - 1973